

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 1月31日
Date of Application:

出願番号 特願2003-024735
Application Number:

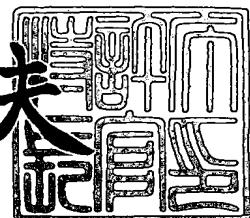
[ST. 10/C] : [JP2003-024735]

出願人 シャープ株式会社
Applicant(s):

2004年 1月29日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2004-3004311

【書類名】 特許願
【整理番号】 02J04641
【提出日】 平成15年 1月31日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H01S 5/06
H01S 5/20
H01S 5/22
G11B 11/03

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内

【氏名】 山崎幸生

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内

【氏名】 伊藤茂稔

【特許出願人】

【識別番号】 000005049

【氏名又は名称】 シャープ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100101823

【弁理士】

【氏名又は名称】 大前 要

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 039295

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0217675

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、前記基板上に形成された第1導電型の下部クラッド層と、前記下部クラッド層上に設けられ、前記第1導電型と導電型が異なる第2導電型の上部クラッド層と、前記下部クラッド層と前記上部クラッド層との間に設けられた活性層とを含み、光を水平方向に閉じ込めるリッジストライプ構造を有する半導体レーザ素子において、

前記下部クラッド層と前記上部クラッド層の少なくとも一方のクラッド層において、前記活性層で発生する基本次水平横モードの光に対する前記活性層と反対側の正面への放射損失と前記活性層で発生する1次水平横モードの光に対する前記活性層と反対側の正面への放射損失との放射損失差が、 10 cm^{-1} 以上であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 2】 基板と、前記基板上に形成された第1導電型である下部クラッド層と、前記第1導電型と導電型が異なる第2導電型の上部クラッド層と、前記下部クラッド層と前記上部クラッド層との間に設けられた活性層とを含み、光を水平方向に閉じ込めるリッジストライプ構造を有する半導体レーザ素子において、

前記下部クラッド層及び前記上部クラッド層の少なくとも一方のクラッド層の屈折率が、前記活性層で発生する基本次水平横モードの光に対する等価屈折率未満であり、かつ前記活性層で発生する1次水平横モードの光に対する等価屈折率以上であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 3】 前記上部クラッド層が、一部の前記活性層上に設けられ、前記リッジストライプ構造の少なくとも一部を構成することを特徴とする請求項1又は2に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 4】 基板と、前記基板上に設けられた第1導電型の下部クラッド層と、前記下部クラッド層上に設けられ、前記第1導電型と導電型が異なる第2導電型の上部クラッド層と、前記下部クラッド層と前記上部クラッド層との間に設けられた活性層とを含み、光を水平方向に閉じ込めるリッジストライプ構造を

有する半導体レーザ素子において、

前記上部クラッド層は、一部の前記活性層上に設けられ、前記リッジストライプ構造の少なくとも一部を構成することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項5】 前記活性層と前記上部クラッド層との間に設けられた、ストライプ形状の突出部を有する第2導電型の上部光導波層を更に含み、

前記上部光導波層の前記突出部は、前記リッジストライプ構造の一部を構成することを特徴とする請求項3又は4に記載の半導体レーザ素子。

【請求項6】 前記下部クラッド層、前記上部クラッド層及び前記活性層が窒化物系半導体からなることを特徴とする請求項1～5のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項7】 前記下部クラッド層の屈折率と前記上部クラッド層の屈折率が異なることを特徴とする請求項1～6のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項8】 前記下部クラッド層の屈折率が前記上部クラッド層の屈折率よりも大きいことを特徴とする請求項7に記載の半導体レーザ素子。

【請求項9】 前記下部クラッド層と前記上部クラッド層のうち屈折率の大きい方のクラッド層の前記活性層側表面から0.1μm以下の距離を隔てて設けられ、前記発光層で発生する光に対して100cm⁻¹以上の吸収を有する吸収層を更に含むことを特徴とする請求項7に記載の半導体レーザ素子。

【請求項10】 前記基板の屈折率が、前記活性層で発生する基本次水平横モードの光に対する等価屈折率より大きいことを特徴とする請求項2～9のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項11】 前記下部クラッド層は、前記基板側から順に積層された、第1導電型の第1下部クラッド層と、第1導電型の第2下部クラッド層と、第1導電型の第3下部クラッド層とを含み、

前記下部クラッド層の屈折率は、第1下部クラッド層の屈折率、第2下部クラッド層の屈折率及び第3下部クラッド層の屈折率の各層厚で重みをつけた加重平均値であり、かつ、

前記第2下部クラッド層の屈折率は、前記第1下部クラッド層の屈折率及び第

3 下部クラッド層の屈折率より小さく、かつ、

前記第1下部クラッド層の屈折率及び前記第3下部クラッド層の屈折率が、前記活性層で発生する基本本次水平横モードの光に対する等価屈折率より小さい、ことを特徴とする請求項10に記載の半導体レーザ素子。

【請求項12】 前記下部クラッド層と前記活性層の間に第1導電型の下部光導波層を更に含み、

前記下部光導波層の屈折率が、前記第1下部クラッド層の屈折率よりも大きく、かつ前記第3下部クラッド層の屈折率より大きいことを特徴とする請求項10に記載の半導体レーザ素子。

【請求項13】 電気的信号で与えられる情報を光記録媒体に記録する光学式情報記録装置において、

請求項1～12のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子と、

前記電気的信号に応じて前記半導体レーザ素子から記録用のレーザ光を射出させる記録光射出制御手段と、

前記半導体レーザ素子から射出したレーザ光を集光する集光手段と、

前記集光手段で集光されたレーザ光を前記光記録媒体の所定の位置に照射して前記情報を記録する照射位置制御手段と、

を含むことを特徴とする光学式情報記録装置。

【請求項14】 再生用の光を射出する再生用光源と、
再生命令信号に応じて前記再生用光源から前記再生用の光を射出させる再生光射出制御手段と、

前記再生用光源から射出された光を集光する再生用集光手段と、

前記集光手段で集光された光を前記光記録媒体の所定の位置に照射する再生光照射位置制御手段と、

前記光記録媒体で反射した光又は前記光記録媒体を透過した光を検出する光検出手段と、

前記光検出手段で検出された光学的信号を電気的信号に変換して前記光記録媒体に記録された情報を再生する光電気変換手段と、

を更に含むことを特徴とする請求項13に記載の光学式情報記録装置。

【請求項 15】 消去用の光を射出する消去用光源と
消去命令信号に応じて前記消去用光源から前記消去用の光を射出させる消去光
射出制御手段と、

前記消去用光源から射出された光を集光する消去用集光手段と、

前記集光手段で集光された光を前記光記録媒体の所定の位置に照射して記録さ
れた前記情報を消去する消去光照射位置制御手段と、

を更に含むことを特徴とする請求項 13 又は 14 に記載の光学式情報記録装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体レーザ素子及びそれを用いて光学的に情報を記録及び／又は再生を行う装置に関する。特に、窒化物系半導体レーザ素子に好適な発明に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来より、種々の半導体材料を用いた半導体レーザ素子が研究されているが、現在実用化されている半導体レーザ素子としては、波長が比較的長い赤色領域から緑色領域であるレーザ光を射出する半導体レーザ素子（例えば、ヒ素化合物系半導体材料を活性層に用いたヒ素化合物系半導体レーザ）が主であった。このような半導体レーザは、主に、光学的に情報を記録及び／又は再生する装置の光源又は光学的に情報を伝達する装置の光源として用いられている。

【0003】

光学式情報記録装置等においては、情報記録速度の高速化の要請に伴い、高出力であり安定したレーザ光を発生させる半導体レーザが熱望されており、更に、記録媒体における情報記録密度の高密度化の要請に伴い、レーザ波長の短いレーザ光を射出する半導体レーザ素子が熱望されている。

【0004】

一般的な光学式情報記録装置では、記録方式として、記録媒体の記録層を構成する物質の結晶相変化又は磁気相転移を用いる方式が採用されており、レーザ光

のエネルギーは情報記録時の熱源として利用されている。したがって、情報記録速度の高速化を実現するためには、レーザ光の出力を高出力にする必要があった。

【0005】

しかし、レーザ光の出力を高出力にするために電流注入量を増加させた場合、半導体レーザ素子は、基本次水平横モードで発振するのみではなく、高次水平横モードでも発振することが知られている。高次水平横モードで発振したレーザ光と基本次水平横モードで発振したレーザ光はスポット内における強度分布が異なるために、スポット径を増大させると共にスポットの楕円率を1から離れる値に変化させる。また、複数の水平横モードが発振するため安定なレーザ光を射出させることが困難となる。その結果、レーザ光を小さく集光させることができなくなったり、収束したレーザ光のスポットが位置ずれを起こしやすくなったり、記録密度を低下させたりすることとなる。

【0006】

なお、横モードには、水平横モードと垂直横モードが存在するが、問題となるのは水平横モードにおける高次水平横モードの発振である。なぜなら、製造過程における長さの加工精度は、レーザ構造を構成する半導体層の積層方向の方が、積層方向と垂直な方向より、高いため、膜厚の制御により高次垂直横モードを発振させずに基本垂直横モードのみを発振させる素子構造とすることができるからである。

【0007】

波長の短いレーザ光を射出する半導体レーザ素子としては、GaN、InN、AlN及びそれらの混晶半導体に代表される窒化物系半導体材料を活性層に用いて青色領域から紫外領域のレーザ光を射出する窒化物系半導体レーザ素子が挙げられ、近年、その試作も行われるようになってきた。例えば、第47回応用物理学関係連合講演会講演予稿集31p-YQ-8（非特許文献1）に記載された30mW程度まで基本次水平横モードで室温連続発振（室温CW）する窒化物系半導体レーザ素子や、ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジクス39号L647-L650ページ（Shin-ichi Nagahama et al: Jpn. J. Appl. Phys.

s. Vol. 39 (2000) pp. L647-L650) (非特許文献2) に記載された 30 ~ 40 mW まで基本次水平横モードで室温連続発振し、ファーフィールドパターン (FFP) 特性における垂直方向の半值全角が約 25 度でありその水平方向の半值全角が約 8 度である窒化物系半導体レーザ素子が挙げられる。波長の短いレーザ光は、波長の長いレーザ光より小さく絞ること (スポット径を小さくすること) ができるため、窒化物系半導体レーザ素子を光源として用いた光学式情報記録装置は、記録媒体への記録密度を従来に比べて高密度化できる次世代高密度情報記録装置として注目されている。

【0008】

以下においては、半導体レーザ素子に、高出力まで安定した発振状態を維持させる具体的技術を説明する。

【0009】

ストライプ領域内における水平方向キャリア分布及び水平方向光強度分布が非対称形状となることによる不安定状況を改善し、単一水平横モード (基本次水平横モードのみ) で高出力まで発振させるために、いわゆる実屈折率導波型 (リッジストライプ構造) の光導波路が採用された AlGaAs 系半導体レーザ素子が知られている。高出力まで基本次水平横モードで発振させるためには光導波路の幅 (以下、ストライプ幅と称す) を狭くすることが有効である。但し、狭くしそると、基本次水平横モードの光に対する光閉じ込めが弱くなり、また、半導体レーザ素子の閾値電圧が上昇することが知られている。したがって、ストライプ幅には最適値が存在する。

【0010】

ストライプ幅を最適化する技術は、窒化物系半導体レーザ素子に対しても適用できる技術であるが、このストライプ幅の最適値は、レーザ発振の波長にはほぼ比例するため、AlGaAs 系半導体レーザ素子に比べて、窒化物系半導体レーザ素子においては 2.0 μm 以下という小さな値となる。したがって、半導体レーザ素子の特性に与える影響は、ストライプ幅の設計値が狭くなるほど顕著となる。その結果、窒化物系半導体レーザ素子においては、半導体レーザ素子の特性に与える影響を十分小さくするためには、ストライプ幅の設計値から $\pm 0.1 \mu\text{m}$

以内に作製する技術が要求される。しかし、この作製誤差の範囲内に収めることは、プロセス技術上、極めて困難である。したがって、窒化物系半導体レーザ素子に対しては、ストライプ幅の調整のみにより单一水平横モード（基本次水平横モードのみ）で高出力まで発振させることは困難である。

【0011】

図11は、従来型の典型的な半導体レーザ素子の構造を表わす模式的な断面図であり、紙面の表裏が共振器方向（軸方向）である。本半導体レーザ素子は、基板1101と、下部クラッド層1103と、下部光導波層1104と、3重量子井戸構造の活性層1105と、キャリアアストップ層1106と、上部光導波層1107と、上部クラッド層1108と、コンタクト層1109とが積層された構成である。上部クラッド層1108は、中央にストライプ状の突出部を有し、その断面形状は凸形状である。コンタクト層1109は、上部クラッド層1108の突出部の上面の略全面にのみ形成されている。本半導体レーザ素子のリッジストライプ構造は、上部クラッド層1108の突出部とコンタクト層1109とによって構成されている。リッジストライプ構造は、上部クラッド層1108を構成することとなる上部クラッド膜とコンタクト層1109を形成することとなるコンタクト膜を成膜後に、フォトリソグラフィー技術とエッチング技術を用いて形成される。このとき、エッチングされる領域においては、コンタクト膜は完全にエッチングされ、かつ、上部クラッド膜は所定の膜厚を残すようにエッチングされる。本半導体レーザ素子では、活性層1105で発光した光は、この導波構造内に閉じ込められて、レーザ発振動作を生ずる。

【0012】

さらに、本半導体レーザ素子は、エッチングされた領域の略全面に形成された、発振波長の光に対してほぼ透明な埋め込み層1110と、コンタクト層1109及び埋め込み層1110の略全面を覆うように形成された電極1112と、基板1101の2主面のうち、下部クラッド層1103が形成されている側と対向する面の略全面に形成された電極1111とを有する。リッジストライプ構造の両端面は、共振器のミラーとして機能する共振器面である。

【0013】

図12は、従来型の典型的な半導体レーザ素子の構造を表す概念的な断面図である。本半導体レーザ素子においては、基板としてサファイア基板1201を用いていること、負電極1211がフォトリソグラフィー技術とエッティング技術とを用いて下部クラッド層1203に達するまでエッティングされた領域の面上に形成されていること以外は図11の半導体レーザ素子と同じである。

【0014】

図11に示された構成の半導体レーザ素子において、単一水平横モード（基本次水平横モードのみ）で高出力まで発振させるための改良方法としては、リッジストライプ領域外の下部クラッド層1108の層厚と上部光導波層1107の層厚との和（エッティング残し膜厚）を調整する方法が知られている。

【0015】

エッティング残し膜厚が大きくなると、ストライプ領域内とストライプ領域外の局所的等価屈折率差が小さくなり、基本次水平横モードに対して1次水平横モードの水平方向光閉じ込め係数が小さくなる。しかし、エッティング残し膜厚が大きくなりすぎると、基本次水平横モードの光の水平方向閉じ込め係数が小さくなり、半導体レーザ素子の閾値電圧の上昇を招く。更に、エッティング残し膜厚が大きくなりすぎると、半導体レーザ構造内における発光の光強度分布が、水平方向に広がるため、射出されたレーザ光のファーフィールドパターン（FFP）における水平方向の半値全角が狭くなる。これはレーザ光の楕円率（水平方向半値全角に対するFFPの垂直方向半値全角の比率）の悪化を招く。このような半導体レーザ素子を光学式情報記録再生装置に搭載した場合、レーザ光の光学系への結合効率が低下する。したがって、エッティング残し膜厚には最適値が存在し、ほぼ一意に決まってしまう。通常、エッティング残し膜厚は、上部光導波層の層厚より0.001～0.15μm厚い膜厚に設定される。

【0016】

図11に示した従来の窒化物系半導体レーザ素子における埋め込み層1110を活性層1105で発生する光に対して吸収性を有する材料で形成することにより、単一水平横モード（基本次水平横モードのみ）で高出力まで発振させる方法が知られている。例えば、ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィ

ジクス41号1829-1833ページ (Tsuyoshi Tojyo et al: Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41 (2002) pp. 1829-1833) (非特許文献3) が挙げられる。非特許文献3に記載された窒化物系半導体レーザ素子は、図11に示された従来の窒化物系半導体レーザ素子における埋め込み層1110を、酸化シリコン (SiO₂) からなる吸収層とした構成、及び、数十nmの酸化シリコン (SiO₂) 層とシリコン (Si) 層とを有する2層構造の吸収層とした構成である。

【0017】

図17は、従来の典型的な光学式情報記録再生装置の基本構成を示す模式図である。半導体レーザ素子1701、コリメータレンズ1702、ビームスプリッタ1703、対物レンズ1704、光ディスク1705、光を検出する光検出系1706、成形プリズム1707からなっている。ここに、半導体レーザ素子としては、従来の典型的な半導体レーザ素子を用いている。

【0018】

記録動作時は、半導体レーザ素子から射出されたレーザ光が、コリメータレンズで平行光もしくは平行に近い光に変換され、ビームスプリッタを経て、対物レンズにより集光されて、光ディスクの情報記録面に照射される。レーザ光の照射された光ディスクの情報記録面には、凹凸、磁気変調又は屈折率変調によりビット情報が書き込まれる。消去動作時は、上記記録動作時と同様の経路によって、レーザ光が光ディスクの情報記録面に照射され、記録されているビット情報を消去する。再生動作時は、半導体レーザ素子から射出されたレーザ光は、凹凸、磁気変調又は屈折率変調によりビット情報が記録されている光ディスクの情報記録面に、記録時及び消去時と同様の経路を経て照射される。その後、レーザ光は、光ディスクの反射面で反射され、対物レンズを通してビームスプリッタを透過し、光検出系に入射する。光検出系は、検出された光を電気的信号に変換して記録情報の読み取りを行う。

【0019】

従来の半導体レーザ素子から射出されたレーザ光は楕円率が非常に大きく、光ディスクに照射する前に、成形プリズムによって楕円率を改善（楕円率を1に近づける）する必要があった。

【0020】

【非特許文献1】

第47回応用物理学関係連合講演会講演予稿集31p-YQ-8

【非特許文献2】

Shin-ichi Nagahama et al. : Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39 (2000) pp. L647-L650

【非特許文献3】

Tsuyoshi Tojyo et al. : Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41 (2002) pp. 1829-1833

【0021】

【発明が解決しようとする課題】

本発明者らは、図11に示された従来の窒化物系半導体レーザ素子（以下、試験用レーザ素子Aと称す）を100個作製した。試験用半導体レーザ素子Aは、基板1101としてn型GaN基板（厚さ3μm）、下部クラッド層1103としてn型Al_{0.07}Ga_{0.93}N層（膜厚0.5μm）、光導波層1104としてn型GaN層（膜厚0.1μm）、3重量子井戸構造の活性層1105における量子井戸層としてIn_{0.10}Ga_{0.90}N層（膜厚4nm）、活性層1105における障壁層としてn型In_{0.02}Ga_{0.98}N層（膜厚8nm）、キャリアプロック層1106としてp型Al_{0.20}Ga_{0.80}N層（膜厚20nm）、上部光導波層1107としてp型Al_{0.07}Ga_{0.93}N層（膜厚0.1μm）、上部クラッド層1108としてp型Al_{0.07}Ga_{0.93}N層（膜厚0.5μm）、コンタクト層1109としてp型GaN層（膜厚0.1μm）を含む構成とした。また、リッジストライプ構造のストライプ幅は2μmとした。

【0022】

図13は、半導体レーザ素子における電流-光出力特性（以下、I-L特性と略称する）を説明するための説明図である。細線は、直線的なI-L特性の一例であり、90mWまで直線的なI-L特性を示している。電流値が一定電流値（閾値電流I_{th}）を越えると基本次水平横モードでの発振が開始され、電流値を更に上げても光出力が90mWまで直線的に増加する理想的な場合を示している。これに対し、太線は、試験用レーザ素子Aに対する典型的なI-L特性である。電流値が一定電流（閾値電流I_{th}）を越えると基本次水平横モードでの発振が開

始されるが、電流値を更に上げていくと光出力が直線的に増加しない箇所を生じる。一般的に、このような箇所はキンクと呼ばれ、また、キンクを発生する際の光出力値はキンクレベル (P_k) と呼ばれている。

【0023】

本発明者らが、I-L特性においてキンクを生じた上記90個の試験用レーザ素子Aについて更に調査したところ、キンクが発生する原因是、水平横モードの変化（基本次水平横モードから1次水平横モードへの変化）にあることが確認された。したがって、試験用レーザ素子AをDC電流で駆動した際、60mWの光出力まで基本次水平横モードで発振した素子は10個であり、I-L特性においてキンクを有する残りの素子は上記出力の範囲内で高次水平横モードの発振を生じていたことが確認されたこととなる。これは、製造上の観点で見れば、従来の半導体レーザ素子の歩留りが10%と低い値であることを示しており、製造コストの増大を意味している。

【0024】

また、I-L特性においてキンクを生じた上記90個の試験用レーザ素子Aの全てにおいて、I-L特性でキンクを生じた位置（キンクレベル）を境にして水平方向のファーフィールドパターン（FFP）が変化することも確認された。

【0025】

図14（a）及び（b）は、窒化物系半導体レーザ素子の水平方向FFPが光出力と共に変化する様子を説明するための説明図である。図14（a）は、ある窒化物系半導体レーザ素子の水平方向FFPを表しており、1401、1402はキンクレベル以下の光出力における水平方向FFP、1403、1404はキンクレベルを超える光出力における水平方向FFPである。この例では、キンクレベルの光出力を境にして、ピークを生ずる位置が移動することが観測された。また、図14（b）は、別の窒化物系半導体レーザ素子の水平方向FFPを表しており、1405、1406はキンクレベル以下の光出力における水平方向FFP、1407、1408はキンクレベルを超える光出力における水平方向FFPである。

【0026】

本願発明者らは、更に、上記の試験用レーザ素子Aにおける透明な埋め込み層を活性層で発生する光を吸収する材料で形成した埋め込み層で置換した試験用レーザ素子Bを作製した。具体的には、試験用レーザ素子Bの埋め込み層を酸化シリコン (SiO_2) で形成した。この試験用レーザ素子Bを用いて、酸化シリコン層の膜厚と埋め込み層の吸収による伝搬損失との相関及びエッチング残し膜厚と埋め込み層の吸収による伝搬損失との相関を調べた。

【0027】

図15は、 SiO_2 層の層厚に対する埋め込み層の吸収による伝搬損失を、基本本次水平横モード及び1次水平横モードのそれぞれについてプロットしたものであり、実線が基本本次水平横モードに、破線が1次水平横モードに対応している。基本本次水平横モードに比べて、1次水平横モードの方が、ストライプ領域の外側に染み出す電界強度分布の割合が大きいため、埋め込み層の吸収による影響を強く受ける。つまり、基本本次水平横モードと1次水平横モードに対する伝搬損失の差を大きくすることができる。

【0028】

高出力まで基本本次水平横モードのレーザ光を維持し、1次水平横モードのレーザ光を十分カットするためには、この伝搬損失の差は少なくとも 10 cm^{-1} 以上は必要であり、大きいほどより望ましい。本構造では、 SiO_2 の厚さを薄くするほど基本本次水平横モードの伝搬損失も1次水平横モードの伝搬損失も指数関数的に増加するので、伝搬損失の差を大きくしようとすれば、同時に基本本次水平横モードの伝搬損失も大きくなる。基本本次水平横モードの伝搬損失が、 2 cm^{-1} 程度（この値は、他の原因による伝搬損失約 10 cm^{-1} とミラー損失約 10 cm^{-1} とを加えた値の10分の1として算出した）を超えると、半導体レーザ素子の閾値電流の上昇及びスロープ効率（I-L特性におけるレーザ発振領域における特性直線の傾き）の減少が顕著となり、動作電流の上昇を招く。これらを考慮すると、 SiO_2 をある程度以上薄くすることはできないことになる。

【0029】

図16は、エッチング残し膜厚に対する、埋込み層の吸収による伝搬損失を、基本本次水平横モードと1次水平横モードについてプロットしたものであり、実線

が基本次水平横モードに対応し、破線が1次水平横モードに対応している。エッチング残し膜厚を大きくするほど、単調に増加するが、同時に基本次水平横モードに対する伝搬損失も大きくなり、 2 cm^{-1} 程度を超えると、半導体レーザ素子の閾値電流の上昇、及びスロープ効率の減少が顕著となり、動作電流の上昇を招く点は、図15と同じ傾向である。また、エッチング残し膜厚を大きくすると、基本次水平横モードの水平方向光閉じ込めが弱くなるため、しきい値電流密度の上昇を招く上、水平FFPの半値全角が減少する。これは、FFPの楕円率増加に繋がり、光学式情報記録再生装置に搭載した際、集光されたレーザ光のスポット形状がより扁平な楕円形となり、クロストークを発生させる原因となる。

【0030】

以上のように、従来の窒化物系半導体レーザ素子においては、基本次水平横モードの伝搬損失を 2 cm^{-1} 以下に抑えつつ、基本次水平横モードと1次水平横モードの伝搬損失の差を 10 cm^{-1} 以上に取ることは不可能であった。

【0031】

以上の理由により、特に、窒化物系半導体レーザ素子が高出力まで基本次横モード発振させる方法として、ストライプ幅を最適値に設定する、エッチング残し膜厚を大きくするのみ又は埋め込み層に吸収材料を入れるのみでは不十分であり、新しい方法が必要とされる。

【0032】

本発明は上記に鑑みなされたものであり、I-L特性におけるキンクを抑制する新手法を提供し、パルス電流で駆動した場合のピーク出力が $60 \sim 100 \text{ mW}$ の高出力まで基本次水平横モードで発振する半導体レーザ素子を提供することを目的とする。また、ファーフィールドパターン（FFP）の楕円率を1に近づける改良を行うことを目的とする。

【0033】

【課題を解決するための手段】

上記の課題を解決するために、本発明に係る半導体レーザ素子の第1の態様は、基板と、基板上に形成された第1導電型の下部クラッド層と、下部クラッド層上に設けられ、第1導電型と導電型が異なる第2導電型の上部クラッド層と、下

部クラッド層と上部クラッド層との間に設けられた活性層とを含み、光を水平方向に閉じ込めるリッジストライプ構造を有する構成であって、下部クラッド層と上部クラッド層の少なくとも一方のクラッド層において、活性層で発生する基本次水平横モードの光に対する活性層と反対側の主面への放射損失と活性層で発生する1次水平横モードの光に対する活性層と反対側の主面への放射損失との放射損失差が 10 cm^{-1} 以上であることを特徴とする。

【0034】

また、上記の課題を解決するために、本発明に係る半導体レーザ素子の第2の態様は、基板と、基板上に形成された第1導電型である下部クラッド層と、第1導電型と導電型が異なる第2導電型である上部クラッド層と、下部クラッド層と上部クラッド層との間に設けられた活性層とを含み、光を水平方向に閉じ込めるリッジストライプ構造を有する構成において、活性層で発生する基本次水平横モードの光に対する等価屈折率を n_0 とし、活性層で発生する1次水平横モードの光に対する1次等価屈折率を n_1 としたとき、下部クラッド層及び上部クラッド層の少なくとも一方のクラッド層の屈折率が n_1 以上 n_0 未満であることを特徴とする。

【0035】

また、上記の課題を解決するために、本発明に係る半導体レーザ素子の第3の態様は、基板と、基板上に設けられた第1導電型の下部クラッド層と、下部クラッド層上に設けられた、第1導電型と導電型が異なる第2導電型の上部クラッド層と、下部クラッド層と上部クラッド層との間に設けられた活性層とを含み、光を水平方向に閉じ込めるリッジストライプ構造を有する構成において、上部クラッド層は、一部の活性層上に設けられてリッジストライプ構造の少なくとも一部を構成することを特徴とする。

【0036】

また、上記の課題を解決するために、電気的信号で与えられる情報を光記録媒体に記録する本発明に係る光学式情報記録装置は、上記本発明に係る半導体レーザ素子と、電気的信号に応じて半導体レーザ素子から記録用のレーザ光を射出させる記録光射出制御手段と、半導体レーザ素子から射出したレーザ光を集光する

集光手段と、集光手段で集光されたレーザ光を光記録媒体の所定の位置に照射して情報を記録する照射位置制御手段とを含む構成とする。

【0037】

【発明の実施の形態】

本発明の内容を説明すると共に、好ましい実施の形態を記述する。以下においては、まず、本発明に係る半導体レーザ素子と本発明に係る光学式情報記録装置について概観し、次に、より具体的な構成に関しては（実施の形態1）～（実施の形態5）において詳細に説明する。

【0038】

本発明に係る半導体レーザ素子について、図1に示された半導体レーザ素子を参考にしながら説明する。図1は、本発明に係る半導体レーザ素子の構造例を表わす模式的な断面図であり、半導体レーザ素子の共振器方向に垂直な断面を表わしている。

【0039】

図1に示された半導体レーザ素子は、第1導電型の基板101と、基板101の下面に接する第1導電型用の電極111と、基板101の上面に接する第1導電型の下地層102と、下地層102の上面に接する第1導電型の下部クラッド層103と、下部クラッド層103の上面に接する第1導電型の下部光導波層104と、下部光導波層104の上面に接する活性層105と、活性層105の上面に接するキャリアブロック層106と、キャリアブロック層106の上面に接し、中央部にその他の部分より上方に突出したストライプ形状の突出部を有する第2導電型の上部光導波層107と、上部光導波層107の突出部の上面に接する第2導電型の上部クラッド層108と、上部クラッド層108の上面に接する第2導電型のコンタクト層109と、上部光導波層107の突出部、上部クラッド層108及びコンタクト層109で形成されるリッジストライプ構造体の両側に設けられた埋め込み層110と、コンタクト層109及び埋め込み層110の上面を覆う第2導電型用の電極112と含む構成（構成A）である。

【0040】

ここに、第1導電型及び第2導電型とはp型又はn型を意味し、第1導電型が

p型である場合には第2導電型はn型であり、第1導電型がn型である場合には第2導電型はp型である。

【0041】

本発明の半導体レーザ素子において、第1導電型用の電極111及び第2導電型用の電極112は必須要素ではない。しかし、半導体レーザ素子を駆動するための電圧印加（電流供給）手段との電気的接続を確実に行うために、通常は、第1導電型用の電極111と第2導電型用の電極112が半導体レーザ素子に形成される。第1導電型用の電極111及び第2導電型用の電極112は、単一の金属材料又は合金材料からなる単層電極であっても、互いに異なる金属材料又は合金材料からなる積層電極であってもよい。

【0042】

本発明に係る半導体レーザ素子の第1の態様においては、下部クラッド層103と上部クラッド層108の少なくとも一方のクラッド層において、活性層105で発生する基本次水平横モードの光に対する活性層105と反対側の正面からの放射損失と活性層105で発生する1次水平横モードの光に対する活性層105と反対側の正面からの放射損失との放射損失差が 10 cm^{-1} 以上であるという条件を満たす限りにおいて、図1で示された構成（構成A）ばかりでなく、上部光導波層107が突出部を有さず平坦な層である構成（構成B）や突出部を有さず平坦な上部光導波層と中央部にその他の部分より上方に突出したストライプ状の突出部を有するクラッド層とを備えた構成（構成C）とすることもできる。

【0043】

なお、構成Aの場合は、下地層102、下部光導波層104、キャリアブロック層106及びコンタクト層109は必須要素ではなく、構成B又は構成Cの場合は、下地層、下部光導波層、キャリアブロック層、上部光導波層及びコンタクト層は必須要素ではない。しかし、高性能な半導体レーザ素子を構成するためには、下部光導波層102、キャリアブロック層106、上部光導波層107及びコンタクト層109を備えることが好ましい。更に、窒化物系半導体レーザ素子の場合、ヒ素化合物系半導体レーザ素子に比べて、結晶性の良好な窒化物系半導体層を形成できる基板が知られていないため、下地層102を設けることが好ま

しい。

【0044】

本発明に係る半導体レーザ素子の第2の態様においては、下部クラッド層103及び上部クラッド層108の少なくとも一方のクラッド層の屈折率が、活性層105で発生する基本次水平横モードの光に対する等価屈折率未満であり、かつ活性層105で発生する1次水平横モードの光に対する等価屈折率以上であるという条件を満たす限りにおいて、図1で示された構成（構成A）ばかりでなく、上部光導波層107が突出部を有さず平坦な層である構成（構成B）や突出部を有さず平坦な上部光導波層と中央部にその他の部分より上方に突出したストライプ状の突出部を有するクラッド層とを備えた構成（構成C）とすることもできる。

【0045】

第2の態様の構成であれば、下部クラッド層103又は上部クラッド層108側から外に、基本次水平横モードの光より、1次水平横モードの光を優位に放射できるため、I-L特性曲線におけるキンクを抑制し、高出力まで基本次水平横モードで発振させることができる。

【0046】

なお、第2の態様の場合も、構成Aにおいては、下地層102、下部光導波層104、キャリアブロック層106及びコンタクト層109は必須要素ではなく、また、構成B又は構成Cにおいては、下地層、下部光導波層、キャリアブロック層、上部光導波層及びコンタクト層は必須要素ではない。しかし、高性能な半導体レーザ素子を構成するためには、下部光導波層104、キャリアブロック層106、上部光導波層107及びコンタクト層109を備えることが好ましい。

【0047】

本発明に係る半導体レーザ素子の第3の態様においては、図1で示された構成（構成A）ばかりでなく、上部光導波層が突出部を有さず平坦な層である構成（構成B）とすることもできる。なお、半導体レーザ素子の第3の態様においては、下地層102、下部光導波層104、キャリアブロック層106及びコンタクト層109は必須要素ではないことに注意を要する。しかし、高性能な半導体レ

ーザ素子を構成するためには、これらの層を備えることが好ましい。

【0048】

構成Aの半導体レーザ素子においては、第1導電型用の電極111を基板の下面に形成したが、図12の如く、下部クラッド層の上面に第1の電極を形成した構成（構成D）であってもよい。構成Dにおける基板として、導電性を有さない基板を用いることができる。なお、半導体レーザ素子の第1の態様、第2の態様及び第3の態様のいずれにおいても構成Dを適用することができる。

【0049】

本発明に係る半導体レーザ素子は、单一の材料からなる単層の活性層や異なる材料からなる複数の層が積層した活性層を備えた構成とすることができる。複数の層が積層した活性層としては、单一量子井戸構造の活性層や多重量子井戸構造の活性層が挙げられる。单一量子井戸構造の活性層は、1つの量子井戸層が障壁層で挟まれた構成ある。また、多重量子井戸構造は、量子井戸層と障壁層とが順次積層されており、かつ最下層と最上層に障壁層を備えた構成（障壁層／量子井戸層／障壁層／…／量子井戸層／障壁層）である。

【0050】

本発明に係る半導体レーザ素子としては、例えば、窒化物系半導体レーザ素子、ヒ素化合物系半導体レーザ素子、セレン化合物系半導体レーザ素子、リン化合物系半導体レーザ素子が挙げられる。ここに、窒化物系半導体レーザ素子とは、窒化物系半導体からなる活性層を有する半導体レーザ素子である。他の半導体レーザ素子も同様に定義される。

【0051】

ここに、窒化物系半導体とは、通常、 $A_{1-p}I_nG_{a1-p-q}N$ （ $0 \leqq p \leqq 1$ 、 $0 \leqq q \leqq 1$ 、 $0 \leqq p + q \leqq 1$ ）からなる結晶を意味するが、本明細書における窒化物系半導体とは、 $A_{1-p}I_nG_{a1-p-q}N$ のみからなる結晶ばかりでなく、I I I 族原子（Al、In、Ga）の一部（20原子数%以下）を、B、Cr、V、Ti、Nb、Ta、Zr、Sc、Tl、Gd、Laで置換した結晶や、V I 族原子であるN原子の一部（20原子数%以下）を、P、As、Sbで置換した結晶や、それらの結晶に不純物としてB、Al、In、Tl、P、As、Sb、B

e、Mg、Cd、Zn、C、Si、Ge、Sn、O、S、Se、Te、H、Sc、Cu、Fe、Ti、V、Cr、Y、Zr、Nb、ランタノイド等が添加されていてもよい。また、本明細書において、n型窒化物系半導体及びp型窒化物系半導体とは、窒化物系半導体に導電型を規定する不純物を含有していることを意味する。他の半導体についても、窒化物系半導体に対する例示と同様に広義に解する。

【0052】

構成A及び構成Bの半導体レーザ素子の場合、基本次水平横モードに対する等価屈折率及び1次水平横モードに対する等価屈折率が構成Cに比べて小さくなるため、基本次水平横モードより1次水平横モードの光を優位に下部クラッド層103及び上部クラッド層108側に放射することができる。これにより、1次水平横モードの発振を抑制することができる。1次水平横モードに対する等価屈折率のみが下部クラッド層103（又は、上部クラッド層108）の屈折率を下回っており、基本次水平横モードに対する等価屈折率は下部クラッド層103（又は、上部クラッド層）の屈折率を上回っているという状態となるようにエッチング残し膜厚を設定することが好ましい。なお、これに関しては、具体的な半導体レーザ素子に基づき、実施の形態2において詳細に説明することとする。

【0053】

また、本発明の半導体レーザ素子において、下部クラッド層103及び上部クラッド層108の少なくとも一方のクラッド層の屈折率が、活性層105で発生する基本次水平横モードの光に対する等価屈折率未満であり、かつ活性層105で発生する1次水平横モードの光に対する1次等価屈折率を以上であると、基本次水平横モードの光と比べて、1次水平横モードの光を優位に上記条件を満たすクラッド層から放射することができる。これにより、1次水平横モードの発振を抑制することができる。なお、これに関しては、具体的な半導体レーザ素子構造に基づき、実施の形態2において詳細に説明することとする。

【0054】

また、本発明の半導体レーザ素子においては、下部クラッド層103の屈折率と上部クラッド層108の屈折率は、同じ値であってもよいし、異なる値であつ

てもよい。下部クラッド層103の屈折率と上部クラッド層108の屈折率を異ならせた場合、屈折率の高い方のクラッド層側への放射損失を助長することができる。

【0055】

一般的に、上部クラッド層108と第2導電型用の電極112との距離より、下部クラッド層103と第1導電型用の電極111との距離の方が長いため、下部クラッド層103側への放射損失を助長することが好ましい。なぜなら、第1導電型用の電極111と第2導電型用の電極112は良好な光反射性を有するため、上部クラッド層108側へ放射された場合より、下部クラッド層103側へ放射された場合のほうが、それらで反射した光が活性層105へ戻る可能性が低くなるからである。また、上部クラッド層108側への放射損失を助長するよりも、下部クラッド層103側への放射損失を助長する方が、FFPにおける楕円率を1に近づけることができる。

【0056】

また、本発明の半導体レーザ素子において、基板101の屈折率が、1次水平横モードに対する等価屈折率以上の値であれば、基板101を透過させて光を放射させることもできる。したがって、この条件を満たす基板101を用い、かつ、下部クラッド層103の屈折率を上部クラッド層108の屈折率より大きい値に設定することが好ましい。

【0057】

また、本発明の半導体レーザ素子においては、下部クラッド層103と上部クラッド層108のうち屈折率の大きい方のクラッド層の活性層側表面から0.1 μ m以下の距離を隔てて設けられ、発光層で発生する光に対して 100 cm^{-1} 以上の吸収を有する吸収層を更に備えた構成とすることができる。この構成であれば、放射損失の助長されたクラッド層側に吸収層を設けることとなり、この吸収層によって生じる吸収損失によって、基本次水平横モードと1次水平横モードの伝搬損失差を更に助長させることができる。更に、屈折率の高い方のクラッド層を分割し、分割したクラッド層の間に吸収層を設ける構成とすることもできる。

【0058】

また、本発明の半導体レーザ素子においては、発光層105で発生する光に対して吸収性を有する基板101を用いた構成であってもよい。この構成であれば、吸収層を設けずとも良好に下部クラッド層103側へ放射された光を吸収させることができる。

【0059】

また、本発明の半導体レーザ素子においては、下部クラッド層103を、基板側から順に積層された、第1下部クラッド層と、第2下部クラッド層と、第3下部クラッド層とを含み、第2下部クラッド層の屈折率が、第1下部クラッド層の屈折率及び第3下部クラッド層の屈折率より小さい構造とすることができる。更に、第1下部クラッド層の屈折率及び第3下部クラッド層の屈折率を、活性層で発生する基本次水平横モードの光に対する等価屈折率より小さい構成とすることが好ましい。なお、これに関しては、具体的な半導体レーザ素子構造に基づき、実施の形態2において詳細に説明することとする。

【0060】

本発明の半導体レーザ素子に対しては、埋め込み層110を発光層で発光する光に対して吸収性を有する吸収性埋め込み層とする従来の技術を併用することができる。この構成であれば、1次水平横モードの発振を更に抑制することができる。

【0061】

以下に、本発明の理解に必要な語句について説明する。まず、本明細書において、「垂直方向」とは、半導体層の層厚方向を指す。また、「水平方向」とは、共振器面に平行でかつ、半導体層の層厚方向に対し垂直な方向を意味する。

【0062】

本明細書において、「ストライプ内の局所的等価屈折率」とは、ストライプ内垂直方向の屈折率分布を有し、水平方向はこれと同じ屈折率分布を持つ仮想的なスラブ導波路を考え、このような構造において通常の電界分布計算により求まる等価屈折率とする。なお、本明細書において、「ストライプ外の局所的等価屈折率」の求め方については、後述する。

【0063】

水平横モードとは、ストライプ幅Wに対し、下記数式1に示される局所的等価屈折率分布 $n(y)$ で決まる屈折率分布を有する仮想的なスラブ導波路を考え、このような構造において通常の電界分布計算により求まるモードを指すものとする。基本次水平横モード、1次水平横モードとは、水平横モードの基本次モード、1次モードをそれぞれ意味する。

【数1】

$$n(y) = N_{in} (|y| \leq W), N_{out} (|y| > W)$$

【0064】

また、水平方向閉じ込め係数 Γ_{\parallel} とは、水平横モードの水平方向光強度分布を $I(y)$ とし、半導体レーザ素子のストライプ幅内を下記数式2として下記数式3で定義される量とする。

【数2】

$$|y| \leq W/2$$

【数3】

$$\Gamma_{\parallel} = \frac{\int_{-W/2}^{W/2} I(y) dy}{\int_{-\infty}^{+\infty} I(y) dy}$$

【0065】

電界分布計算は、スラブ導波路における通常の電界分布計算を指す。手法は、例えば、ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス84号1196から1203ページ (M. J. Bergmann and H. C. Casey, Jr. : J. Appl. Phys. vol. 84 (1998) pp. 1196-1203) を参照することができる。電界分布計算におけるパラメータである、発振波長 λ [nm] における各材料の屈折率 n は、次により、求められる。発振波長 λ は300～800nmの範囲とすることができます。例えば、窒化物系半導体材料のパラメータ E_g [eV] は下記数式で与えられる。

【数4】

$$Eg = Eg_1[s] = 3.42(1-s) + 2.65s - 3.94s(1-s)$$

(I $n_s G a_{1-s} N$ ($0 \leq s \leq 1$) の場合)

$$Eg = Eg_2[t] = 3.42(1-t) + 6.2t - 1.057t(1-t)$$

(A $1_t G a_{1-t} N$ ($0 \leq t \leq 1$) の場合)

$$Eg = (s \cdot Eg_1[s+t] + t \cdot Eg_2[s+t]) / (s+t)$$

(I $n_s A 1_t G a_{1-s-t} N$ ($0 < s < 1, 0 < t < 1$) の場合)

【0066】

これにより、屈折率は、下記数式5に従がって求められる。

【数5】

$$n(p[\lambda]) = [4.3663801 + p^2 / (p^2 - 295.9^2)]^{0.5}$$

($p[\lambda] > 360.7$ の場合)

$$n(p[\lambda]) = c_0 + c_1 \cdot q + c_2 \cdot q^2 + c_3 \cdot q^3 + c_4 \cdot q^4$$

($p[\lambda] \leq 360.7$ の場合)

(ここに、

$$p[\lambda] = 1 / [1 / \lambda - (Eg - 3.42) / 1239.852]$$

$$q = p[\lambda] - 360$$

$$c_0 = 2.718$$

$$c_1 = 9.976 \times 10^{-3}$$

$$c_2 = 3.005 \times 10^{-4}$$

$$c_3 = 4.584 \times 10^{-6}$$

$$c_4 = 2.59610^{-8}$$

である。)

【0067】

本明細書において、「放射損失」とは、作製したレーザ構造について、有限差分法によるビーム伝搬法 (Finite Difference Beam Propagation Method, FD-BPM) により求まる計算値を指すものとする。FD-BPMについては、例えばW.P.Huang, IEEE J. Quantum Electron. 29(1993)2639を参照することが出来る。まず、初期値として適切な光強度分布 (基本次モードを求める場合は単峰な光強度分布を、1次モードを求める場合は双峰の光強度分布を与える) を作製したレーザの構造に入射させ、 $300 \mu m$ 伝搬させた後の光強度分布を、FD-BPMにより計算すると、同計算構造における横モード成分のみが選択的に伝播し、

他の成分は計算構造外に伝搬していき、 $300\mu\text{m}$ 伝搬する間に無視できる強度まで減少するため、伝搬後の光強度分布は同計算構造における横モードの光強度分布とみなすことが出来る。次に、求まった横モード光強度分布を改めて同じ計算構造内に入射させ、単位長さだけ伝搬させた後のパワー減衰割合から、同構造における放射損失を求めることができる。ここで、計算構造は、走査型電子顕微鏡（SEM）により求めた層厚・及びX線から求めたIn混晶比及びAl混晶比から、レーザ構造の共振器方向に垂直な断面における屈折率分布を求め、さらに活性層中央面とリッジ中央面と共振器方向に垂直な断面との交点を原点とした、垂直方向 $\pm 4\mu\text{m}$ 、水平方向 $\pm 4\mu\text{m}$ 以内の領域のみとした。この計算構造より外に放射した光は、放射損失として取り扱っている。また、上記計算構造の周囲は、透明境界条件を用いた。透明境界条件については、例えばG. R. Hadley, Optic sLett. 16(1991)624を参照することが出来る。また、差分化する際のセルの大きさは、計算構造内で一定とし、縦 $0.04\mu\text{m}$ 以下、横 $0.1\mu\text{m}$ 以下とした。

【0068】

本発明の光学的に情報を記録及び／又は再生を行う装置は、情報の記録するための記録光の光源又は情報を再生するための光源として、上記本発明に係る半導体レーザ素子を少なくとも1つ備えることを特徴とする。記録光の光源又は再生光の光源として本発明に係る半導体レーザ素子を備える限りにおいて、その他の構成には公知のいかなる構成を用いてもよい。

【0069】

本発明に係る光学式情報記録装置は、本発明に係る半導体レーザ素子と、電気的信号に応じて半導体レーザ素子から記録用のレーザ光を射出させる記録光射出制御手段と、半導体レーザ素子から射出したレーザ光を集光する集光手段と、集光手段で集光されたレーザ光を光記録媒体の所定の位置に照射して情報を記録する照射位置制御手段と、を含む構成である。この構成の場合、光学的記録専用装置とも呼ばれる。高出力まで基本本次水平横モードで発振するばかりでなく、FFPにおける楕円率を1に近づけた半導体レーザ素子を用いたことにより、楕円形のビームスポットを円形近づけるため手段、例えば、通常必ず使用していた形成プリズム、を用いない構成とすることもできる。

【0070】

本発明に係る光学式情報記録装置は、再生用の光を射出する再生用光源と、再生命令信号に応じて再生用光源から光を射出させる再生光射出制御手段と、再生用光源から射出された光を集光する再生用集光手段と、集光手段で集光された光を光記録媒体の所定の位置に照射する再生光照射位置制御手段と、光記録媒体で反射した光又は光記録媒体を透過した光を検出する光検出手段と、光検出手段で検出された光学的信号を電気的信号に変換して光記録媒体に記録された情報を再生する光電気変換手段と、を更に含む構成とすることもできる。この場合、情報の記録と共に記録された情報を再生することができる。この構成の場合、光学的情報記録再生装置とも呼ばれる。

【0071】

本発明の光学的情報記録再生装置は、記録用光源と再生用光源として1つの本発明に係る半導体レーザ素子を有する構成であっても、本発明に係る半導体レーザ素子を含む2つの異なる光源であってもよい。1つの半導体レーザ素子で記録用光源と再生用光源を兼用する場合、異なる強度を射出できる構成が必要である。また、その他のいかなる手段においても記録用と再生用に兼用して、装置の構造を簡素化する構成であってもよい。

【0072】

本発明に係る光学的情報記録装置及び光学的情報記録再生装置は、消去用の光を射出する消去用光源と、消去命令信号に応じて消去用光源から消去用の光を射出させる消去光射出制御手段と、消去用光源から射出された光を集光する消去用集光手段と、集光手段で集光された光を光記録媒体の所定の位置に照射して記録された情報を消去する消去光照射位置制御手段と、を更に含む構成とすることもできる。この構成の場合、消去可能型の光学的情報記録装置又は消去可能型の光学的情報記録再生装置とも呼ばれる。

【0073】

本発明の消去可能型の光学的情報記録装置は、記録用光源と消去用光源として1つの本発明に係る半導体レーザ素子を有する構成であっても、本発明に係る半導体レーザ素子を含む2つの異なる光源であってもよい。また、本発明の消去可

能型の光学的情報記録再生装置は、記録用光源と再生用光源と消去用として1つの本発明に係る半導体レーザ素子を有する構成であっても、本発明に係る半導体レーザ素子を含む2つ又は3つの異なる光源であってもよい。また、その他のいかなる手段においても記録用、再生用及び消去用のいずれか2つ以上に兼用して、装置の構造を簡素化する構成であってもよい。

【0074】

また、再生用の光を射出する本発明に係る半導体素子と、再生命令信号に応じて再生用光源から光を射出させる再生光射出制御手段と、再生用光源から射出された光を集光する再生用集光手段と、集光手段で集光された光を光記録媒体の所定の位置に照射する再生光照射位置制御手段と、光記録媒体で反射した光又は光記録媒体を透過した光を検出する光検出手段と、光検出手段で検出された光学的信号を電気的信号に変換して光記録媒体に記録された情報を再生する光電気変換手段と、を含む構成の光学的再生装置であってもよい。この構成の場合、光学的再生専用装置とも呼ばれる。

【0075】

更に、光ファイバー等の光学的に情報を伝達する媒体に光学的信号を射出する光学的情報伝達装置の光源として本発明に係る半導体レーザ素子を用いてもよい。光学的情報伝達装置としては、例えば、電気的信号で与えられる情報を光学的信号に変換して媒体に射出する装置や光学的信号を中継する装置が挙げられる。

【0076】

(実施の形態1)

本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、リッジストライプ構造を有する窒化物系半導体レーザ素子である。本窒化物系半導体レーザ素子の構造は図1に示された半導体レーザ素子と同じ構造であるため、図1を参照しながらその構成を説明する。

【0077】

本半導体レーザ素子は、n型GaNからなる基板101(好ましくは、膜厚が30~500μm)、n型GaNからなる下地層102(好ましくは、膜厚が0.1~10μm)、n型Al_xGa_{1-x}N(好ましくは、0.04≤x≤0.15

) からなる下部クラッド層103 (好ましくは、膜厚が0.8 μ m以上) 、n型GaNからなる下部光導波層104 (好ましくは、膜厚が0~0.15 μ m) 、In_wGa_{1-w}N (好ましくは、0 < w ≤ 0.2) からなる量子井戸層及びn型In_vGa_{1-v}N (0 ≤ v < w) からなる障壁層を交互に積層させた多重量子井戸構造の活性層105 (好ましくは、総膜厚が5~100 nm) 、p型Al_zGa_{1-z}Nからなるキャリアブロック層106 (好ましくは、膜厚が0~0.1 μ m) 、中央部にその他の部分より上方に突出した突出部を有し p型GaNからなる上部光導波層107 (好ましくは、中央部の膜厚0.05~0.15 μ m) 、上部光導波層の突出部上に形成されたp型Al_yGa_{1-y}N (好ましくは、0.04 ≤ y ≤ 0.15) からなる上部クラッド層108 (好ましくは、膜厚が0.4 μ m以上) 、上部クラッド層上に形成されたp型GaNからなるコンタクト層109 (好ましくは、膜厚が0.01~1.0 μ m) と、上部光導波層の突出部、上部クラッド層及びコンタクト層で構成されるリッジストライプ構造体の両側に設けられた埋め込み層110と、正電極112と、負電極111とを備える。

【0078】

本窒化物系半導体レーザ素子の発光波長は、370~430 nmの範囲であり、活性層105における量子井戸層及び障壁層を形成するInGaN半導体の混晶比及び各層の膜厚によって調整される。

【0079】

活性層105における量子井戸層の層数は、2~6層が好ましく、特に2又は3層が好ましい。量子井戸層の半導体がノンドープの半導体である構成を示したが、Si等を含むn型半導体を採用した構成とすることもできる。また、障壁層の半導体がn型半導体である構成を示したが、ノンドープの半導体を採用した構成とすることもできる。

【0080】

また、下部光導波層104、上部光導波層107及びキャリアブロック層106には導電型不純物を含むことにより導電型の規定されている半導体を採用した構成を示したが、それらの層にノンドープの半導体を採用した構成とすることもできる。

【0081】

p型用の電極112（正電極）としては、例えば、ニッケル（Ni）膜上に金（Au）膜を積層してなるAu/Ni電極やパラジウム（Pd）膜上に金（Au）膜を積層してなるAu/Pd電極が挙げられる。また、n型用の電極（負電極）としては、例えば、チタン（Ti）膜にアルミニウム（Al）膜を積層してなるAl/Ti電極やタンクスチタン（W）膜に金（Au）膜を積層してなるAu/W電極が挙げられる。

【0082】

次に、本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子の製造方法について説明する。

まず、（0001）C面を結晶成長用面とするn型GaNからなる基板101を洗浄する（洗浄工程）。洗浄したGaN基板101をMOCVD装置内に導入し、H₂雰囲気の中で、約1100℃の高温でクリーニングを行う（清浄化工程）。

【0083】

次に、約1050℃まで降温する。TMG（トリメチルガリウム）を100μmol/min、SiH₄（モノシラン）を10nmol/min導入して、下地層101としてn型GaN層を成長させる（下地層形成工程）。

【0084】

下地層形成工程の完了後、TMGの流量を50μmol/minに調整し、TMA（トリメチルアルミニウム）を一定量導入して、SiH₄を10nmol/min流しながら、下部クラッド層103としてn型Al_xGa_{1-x}N（例えばx=0.06）層を成長させる（下部クラッド層形成工程）。

【0085】

下部クラッド層形成工程完了後、TMAの供給を停止し、かつTMGを100μmol/minに調整して、下部光導波層104としてn型GaN層を成長させる（下部光導波層形成工程）。

【0086】

下部光導波層形成工程の完了後、TMGの供給を停止して、キャリアガスを水

素ガス（H₂ガス）から窒素ガス（N₂ガス）に代えて、700℃まで降温し、インジウム原料であるトリメチルインジウム（TMI）を一定量、TMGを15μmol/mi n導入し、活性層105を構成する障壁層としてn型In_vGa_{1-v}N（例えば、v=0.005）層を成長させる（障壁層形成工程）。次に、SiH₄の供給を停止し、かつTMIの供給をある一定量にまで増加して、活性層105の量子井戸層としてIn_wGa_{1-w}N（例えば、w=0.09）層を成長させる（量子井戸層形成工程）。成長時に導入するTMIの流量は、その設計値に等しいIn組成の膜が得られるように調節する。障壁層形成工程と量子井戸層形成工程とを繰り返して所望の多重量子井戸構造を有する活性層105を形成する（活性層形成工程）。

【0087】

活性層形成工程の完了後、TMI、TMG及びSiH₄の供給を停止して、1050℃まで昇温し、キャリアガスをN₂ガスからH₂ガスに代えて、TMGを50μmol/mi n、TMAを適量、p型不純物の原料であるビスシクロペニタジエニルマグネシウム（Cp₂Mg）を10nmol/mi n導入し、キャリアブロック層106としてp型Al_zGa_{1-z}N（例えば、z=0.3）層を成長させる（キャリアブロック層形成工程）。

【0088】

キャリアブロック層形成工程の完了後、TMAの供給を停止し、TMGの供給量を100μmol/mi nに調整して、上部光導波層107としてp型GaN層を成長させる（上部光導波層形成工程）。

【0089】

上部光導波層形成工程の完了後、TMGの供給を50μm/mi nに調整し、かつTMAを一定量導入して、上部クラッド層108としてp型Al_yGa_{1-y}N（例えば、y=0.06）層を成長させる（上部クラッド層形成工程）。

【0090】

上部クラッド層形成工程の完了後、TMGの供給を100μmol/mi nに調整して、かつTMAの供給を停止して、コンタクト層109としてp型GaN層を成長させる（コンタクト層形成工程）。

【0091】

コンタクト層形成工程の完了後、TMG 及び Cp_2Mg の供給を停止し、かつ室温まで降温して各種の半導体層の形成された基板を MOCVD 装置から取り出す。引き続き、フォトリソグラフィー技術及び反応性イオンエッチング技術を用い、中央領域に所定のストライプ幅のリッジストライプ構造を形成するように、中央領域の両側の側部領域下に積層されている半導体層を所定の深さまでエッチングする（リッジストライプ形成工程）。このとき、側部領域下においては、コンタクト層 109 及び上部クラッド層 108 は完全にエッチングされ、上部光導波層 107 は適切な厚さまでエッチングされる。適切な厚さ（エッチング残し膜厚）は、下部クラッド層 103 の屈折率を基本次水平横モードに対する等価屈折率と 1 次水平横モードに対する等価屈折率の間に於ける設計によって決定される値である。

【0092】

リッジストライプ形成工程の完了後、埋め込み層 110 を形成することとなる埋め込み膜を成膜した後、フォトリソグラフィー技術を用いて、コンタクト層 109 の上面を露出させる（埋め込み層形成工程）。

【0093】

埋め込み層形成工程の完了後、コンタクト層 109 の略全面上に p 型用の電極（正電極）112 を形成する（第 2 導電型用電極形成工程）。また、基板 101 の下面（裏面）の略全面に n 型用の電極（負電極）111 を形成する（第 1 導電型用電極形成工程）。なお、n 型用電極形成工程は、p 型用電極形成工程に先立って行ってもよいし、下地層形成工程前に行ってもよい。

【0094】

第 2 導電型用電極形成工程及び第 1 導電型用電極形成工程の完了後、各半導体層の積層された基板 101 を劈開して、共振器ミラーとなる 2 つの共振器端面（図示せず）を形成する（共振器端面形成工程）。

【0095】

最後に、2 つの共振器端面のうちレーザ光を射出する側でない端面に、約 95 % の高反射コーティングを施して、高反射膜（図示せず）を形成する（高反射膜

形成工程）。上述の各工程を経て、図1に示された窒化物系半導体レーザ素子が完成する。

【0096】

本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子は、上記本発明の第1の態様、第2の態様、第3の態様における特徴を全て満たす構成であり、本願の目的が良好に達成される。更に、基板の屈折率が基本次水平横モードの等価屈折率以上である条件も満たしている。

【0097】

(実施の形態2)

図5は、本発明に係る窒化物系半導体レーザ素子の実施の形態1と異なる構造例を表す模式的な断面図であり、半導体レーザの導波路部分の共振器方向に垂直な断面を表している。本窒化物系半導体レーザ素子は、下部クラッド層が、基板側から第1下部クラッド層第2下部クラッド層及び第3下部クラッド層からなる3層積層構造を有していること以外は、実施の形態1に係る窒化物系半導体レーザ素子と同じ構造である。

【0098】

本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子は、n型GaNからなる基板501（好ましくは、膜厚30～500μm）と、n型GaNからなる下地層502（好ましくは、0.1～10μm）と、n型Al_x1GaN_{1-x}1N（0.04≤x₁ < x₂≤0.15）からなる第1下部クラッド層513（好ましくは、膜厚0.8μm以上）と、n型Al_x2GaN_{1-x}2N（0.04≤x₁ < x₂≤0.15）からなる第2下部クラッド層523（層厚0.05μm以上0.3μm以下）と、n型Al_x3GaN_{1-x}3N（0.04≤x₃ < x₂≤0.15）からなる第3下部クラッド層533（好ましくは、層厚0.01μm以上0.3μm以下）と、n型GaNからなる下部光導波層504（好ましくは、膜厚0～0.15μm）、In_wGaN_{1-w}N（0 < w≤0.2）からなる量子井戸層及びn型In_vGaN_{1-v}N（0≤v < w）からなる障壁層を交互に積層させた多重量子井戸構造の活性層505（好ましくは、総膜厚5～100nm）、p型Al_zGaN_{1-z}Nからなるキャリアプロック層506（好ましくは、膜厚0～0.1μm）、中央部にその他

の部分より上方に突出したストライプ状の突出部を有し p 型 GaN からなる上部光導波層 507 (好ましくは、中央部の膜厚 $0.05 \sim 0.15 \mu\text{m}$) 、上部光導波層 507 の突出部上に形成された p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ (好ましくは、 $0.04 \leq y \leq 0.15$) からなる上部クラッド層 508 (好ましくは、膜厚が $0.4 \mu\text{m}$ 以上) 、上部クラッド層 508 上に形成された p 型 GaN からなるコンタクト層 509 (好ましくは、膜厚が $0.01 \sim 1.0 \mu\text{m}$) と、上部光導波層 507 の突出部、上部クラッド層 508 及びコンタクト層 509 で構成されるリッジストライプ構造の両側に設けられた埋め込み層 510 と、正電極 512 と、負電極 511 とを備える。

【0099】

本窒化物系半導体レーザ素子において、第2下部クラッド層 523 は、第1下部クラッド層 513 及び第3下部クラッド層 533 より Al 含有率の高い半導体で構成されている。すなわち、第2下部クラッド層 523 の屈折率は、第1下部クラッド層 513 の屈折率及び第3下部クラッド層 533 の屈折率より低い構成である。また、第2下部クラッド層 523 は、上部光導波層 507 と $0.01 \mu\text{m}$ 以上 $0.03 \mu\text{m}$ 以下の距離を隔てて形成されていることになる。

【0100】

本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子の構造について、本発明の効果及び作用を説明する。なお、実施の形態 1 に記載した構造についても本実施の形態と程度の差はあるものの同質の作用及び同質の効果を奏する。

【0101】

図 2 は、エッチング残し膜厚と、基本次水平横モード及び 1 次水平横モードそれぞれに対する基板 501 側 (下部クラッド層側) への染み出しによる放射損失をプロットしたものである。曲線 201 及び曲線 202 は、それぞれ、基本次水平横モード及び 1 次水平横モードに対応する特性曲線である。ここで、本明細書においては、エッチング残し膜厚とは、水平方向光閉じ込めリッジストライプ構造体の形成後にエッチングにより露出されたエッチング露出底面と、キャリアアップロック層の上面との距離を意味するものとする。

【0102】

エッティング残し膜厚が上部光導波層107の中央部（ストライプ領域内）の厚さより小さくなると、1次水平横モードに対する下部クラッド層側への染み出しによる放射損失が双曲線関数的に急激に大きくなる傾向を図2は示している。

【0103】

図3は、下部クラッド層の屈折率と、基本次水平横モード及び1次水平横モードのそれぞれに対する下部クラッド層側への染み出しによる放射損失をプロットしたグラフ図である。曲線301、曲線302は、それぞれ、基本次水平横モード及び1次水平横モードに対応する特性曲線である。

【0104】

下部クラッド層の屈折率がある程度小さくなると、1次水平横モードの下部クラッド層側への染み出しによる放射損失が、双曲線関数的に、急激に大きくなる傾向を示している。

【0105】

ここに、積層構造を有する下部クラッド層の屈折率は、各層の屈折率に各層の層厚で重みを付けた加重平均であることに注意を要する。

【0106】

図2及び図3のような傾向を示す原因について、以下に述べる。

図6は、図5に示された実施の形態2に係る窒化物半導体レーザ素子の模式的な断面図に基づいて、屈折率が異なる境界線を簡略化して示したものである。図7及び図8は、実施の形態2に係る窒化物系半導体レーザ素子における、基本次水平横モード及び1次水平横モードの光強度分布を等高線表示したものであって、共振器方向に垂直な断面における光強度の対数値を表わしている。なお、図7及び図8は、図6に示された屈折率分布における横モード光強度分布を計算したものである。

【0107】

図7及び図8を得るための計算手法として、有限差分法によるビーム伝搬法（Finite Difference Beam Propagation Method、F D-B P M）を用いた。初期値として適切な光強度分布を図6に示された構造に入射させ、数百 μ m（本明細書における計算においては300 μ mとした）伝搬させた後の光強度分布を求め

ると、図6に示された計算構造における水平横モード成分のみが選択的に伝播し、他の成分は計算構造外に伝搬し、数百 μ m伝搬する間に無視できる強度にまで減少してしまう。初期値の光強度分布として、図6に示された計算構造における基本次水平横モード又は1次水平横モードの光強度分布に近いものを用いれば、所望の次数に対する水平横モードの光強度分布を得ることができる。以上の手続きにより、図7及び図8に示された光強度分布が求められている。

【0108】

図7に示された基本次水平横モードの光強度分布を見ると、図6に示された活性層付近に光強度分布のピークが位置しており、活性層105から遠ざかるにつれて光強度が指数関数的に減少していることがわかる。つまり、基本次水平横モードで発光した光はレーザ素子構造内に閉じ込められていることがわかる。これに対し、図8に示された1次水平横モードの光強度分布を見ると、図6に示された活性層105から下地層102のある方向に、1次水平横モードで発光した光が放射されていることがわかる。すなわち、実施の形態2に係る窒化物系半導体レーザ素子においては、基本次水平横モードに比べ、1次水平横モードの方が、顕著に、n型GaNからなる下地層102の方向へ光が放射されている。

【0109】

図4は、エッチング残し膜厚に対する基本次水平横モードの等価屈折率及び1次水平横モードの等価屈折率の変化を、それぞれ、プロットしたものである。曲線401及び曲線402は、それぞれ、基本次水平横モード及び1次水平横モードに対応する特性曲線である。図4における実線403は上部光導波層及び下部光導波層の屈折率の全層厚に渡る平均値（層厚で重みを付けた加重平均）を、実線404は下部クラッド層の屈折率の全層厚に渡る平均値（層厚で重みを付けた加重平均）を、それぞれ、等価屈折率の値としてプロットした直線である。

【0110】

ここで、各モードの等価屈折率は、水平横モード計算から求まる値を用いている。水平横モード計算に用いたストライプ領域外の局所的等価屈折率の値 N_{out} は、従来のAlGaN系半導体レーザ素子においては、ストライプ内の局所的等価屈折率 N_{in} を求める方法と同様に、ストライプ領域外の垂直方向の屈折率

分布を有し、水平方向はこれと同じ屈折率分布を有する仮想的なスラブ導波路を仮定した通常の電界分布計算により求まる等価屈折率である。また、従来の窒化物系半導体レーザ素子においても、エッチング残し膜厚が上部光導波層の層厚以上の値に設定されている場合は、この方法が十分適用できる。

【0111】

しかし、本発明の窒化物系半導体レーザ素子において、エッチング残し膜厚が上部光導波層の層厚以下の値に設定（ストライプ領域外の上部クラッド層をエッチングにより完全に除去した場合）されると、ストライプ領域外における垂直方向の屈折率分布の上下非対称性が顕著な状態で、光の閉じ込められる領域（ここでは上部光導波層の上面から下部光導波層の下面までの領域を意味する）に、仮想的なスラブ導波路を仮定して通常の電界分布計算を行っても、導波モードが存在しないために、 N_{out} を求めることができない。したがって、ストライプ領域外の上部クラッド層をエッチングにより完全に除去した構成の半導体レーザ素子の場合、ストライプ外の局所的等価屈折率は、以下の式6により求まる値 N_{out} とする。なお、式6における積分記号の積分範囲は、 $-\infty < x < +\infty$ である。

【数6】

$$N_{out}^2 = N_{in}^2 + \int \{ n_{out}(x)^2 - n_{in}(x)^2 \} \cdot P(x) \cdot dx$$

【0112】

ここで、半導体レーザ素子の垂直方向をx軸にとり、 N_{in} はストライプ領域内の局所的等価屈折率とし、 $n_{in}(x)$ はストライプ領域内における垂直方向の屈折率分布とし、 $n_{out}(x)$ はストライプ領域外における垂直方向の屈折率分布とし、 $P(x)$ はストライプ領域内の局所的等価屈折率を計算する際に求まる下記式7を満たすように規格化された垂直方向の電界強度分布とする。なお、式7における積分記号の積分範囲は、 $-\infty < x < +\infty$ である。

【数7】

$$\int P(x) dx = 1$$

【0113】

なお、この方法で、従来の窒化物系半導体レーザ素子について計算を行っても、この計算で求まる水平横モードの等価屈折率及び光強度分布は従来の手法による結果とほとんど変わらない。

【0114】

基本次水平横モード及び1次水平横モードは、上部光導波層及び下部光導波層を導波しているから、基本次水平横モードに対する等価屈折率401及び1次水平横モードに対する等価屈折率402が、直線403より上にくることはない。

【0115】

エッティング残し膜厚が小さくなってくると、低屈折率層である埋め込み層と、レーザ光の閉じ込め領域との距離が縮まるため、モードの等価屈折率は、ストライプ領域外の屈折率分布の影響を受けて低下する。そして、下部クラッド層の屈折率を下回るようになると、光は垂直方向にはもはや閉じ込められなくなり、下部クラッド層側への放射が顕著となる。1次水平横モードに対する等価屈折率の方が基本次水平横モードに対する等価屈折率よりも必ず小さいため、エッティング残し膜厚が小さくなつてゆくと、1次水平横モードに対する等価屈折率のみが下部クラッド層の屈折率を下回っており、基本次水平横モードに対する等価屈折率は下部クラッド層の屈折率を上回っているという状態が実現する。この状態にあるとき、n型クラッド層側への染み出しによる放射損失が、1次横モードに対しては大きくなり、基本次横モードに対しては低く維持されたままという選択放射状態が実現する。

【0116】

更に、エッティング残し膜厚が選択放射状態を実現するためのエッティング残し膜厚の許容範囲は、下部クラッド層の屈折率を上部光導波層及び下部光導波層の屈折率に近づけるほど、すなわち、下部クラッド層の構成材料であるAlGaNのAl混晶比を小さくするほど、広くなることになる。

【0117】

しかし、下部クラッド層の屈折率が大きくなりすぎると、基本次水平横モードの下部クラッド層側への放射損失が大きくなりすぎて良好な選択放射状態とならない。また、下部クラッド層の屈折率と上部光導波層及び下部光導波層の屈折率

との差が小さくなりすぎると、基本次水平横モードの垂直方向の光閉じ込めが弱くなりすぎて良好な選択放射状態とならない。したがって、その最適範囲内に設定することが望ましい。

また、本実施の形態においては、基板としてn型GaNからなる基板を用いたが、基板の屈折率が基本次水平横モードに対する等価屈折率以上になつていれば、他の材料からなる基板でもよく、例えば、SiC基板を用いることもができる。

【0118】

上述のように、本発明の窒化物系半導体レーザ素子では、下部クラッド層の屈折率の変化やエッチング残し膜厚の変化に対する水平横モードの伝搬損失が、縦軸に漸近する双曲線関数のように急激に変化し、かつ基本次水平横モードの伝搬損失と1次水平横モードの伝搬損失に対する双曲線関数の漸近線がずれているために、基本次横モードの伝搬損失が 2 cm^{-1} 以下と低く、かつ1次横モードの伝搬損失が基本次横モードのそれより 10 cm^{-1} 以上大きな選択放射状態を実現できる。

【0119】

なお、上記においては、下部クラッド層側（基板側）への放射損失について説明したが、上部クラッド層側に対する放射損失についても同様の傾向を示すことに注意を要する。

【0120】

更に、本発明の窒化物系半導体レーザ素子においては、従来の窒化物系半導体レーザ素子に比べて、下部クラッド層の屈折率（Al混晶比が低く）設定されるため、基本次水平横モードの光強度分布が下部クラッド層側に広がり、出射光のFFPにおける垂直方向の半值全角が狭くなる傾向を有する。更に、本発明の窒化物系半導体レーザ素子においては、従来の窒化物系半導体レーザ素子に比べて、エッチング残し膜厚が上部光導波層の層厚以下と薄めに設定されているため、基本次水平横モードの光強度分布が水平方向に広がるため、射出光のFFPにおける水平方向の半值全角が広くなる傾向がある。すなわち、本発明の窒化物系半導体レーザ素子は、従来の窒化物系半導体レーザ素子に比べ、FFPの楕円率が

小さくなるという効果を奏する。これは、窒化物系半導体レーザ素子を、光学式情報記録再生装置に搭載した際、成形プリズム無しで、集光スポット形状が円形に近くなるため、クロストークを減少させることができるという効果を奏する。

【0121】

実施の形態1に係る窒化物系半導体素子では、n型クラッド層のAl混晶比を低くすると、基本次横モードの光強度分布が下部クラッド層側に広がるため、基本次水平横モードの垂直方向の光閉じ込めが小さくなる。これは閾値電流密度を上昇させ、半導体レーザの動作電力を上昇させることとなる。しかし、本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子では、この問題を解消している。即ち、n型クラッド層中に、n型クラッド層よりも屈折率の低い、即ちAl混晶比の高い層504が、n型ガイド層と0.01μm以上0.03μm以下の距離を隔てて形成されていることにより、n型クラッド層側への放射を保ちつつ、またFFPの垂直方向半値幅の増大を最小限に抑え、即ち本発明の効果を保ちつつ、垂直方向の光閉じ込め係数を増加させる効果がある。つまり、本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子は、実施の形態1に係る窒化物系半導体レーザ素子に比べて、高性能な素子となる。

【0122】

本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子は、上述の本発明の第1の態様、第2の態様、第3の態様における特徴を全て満たす構成であり、本願の目的が良好に達成される。更に、基板の屈折率が基本次水平横モードの等価屈折率以上である条件も満たしている。

【0123】

本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子を100個作製したところ、90個は平均3.0kA/cm²の低閾値電流密度で室温(25℃)連続発振した。作製した窒化物半導体レーザのうち80個はスロープ効率1.4W/AのI-L特性を示し、100mWまで基本次水平横モード発振を維持した。また、100mWにおける動作電圧は4.5Vで、発振波長は405nm、垂直及び水平FFPの半値幅はそれぞれ16.2度、9.9度で、楕円率1.6を実現した。

【0124】

(実施の形態3)

本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子は、図1に示された窒化物半導体レーザ素子と同じ構造であるが、上部クラッド層のA1混晶比が下部クラッド層のA1混晶比よりも大きい構成、つまり、上部クラッド層の屈折率が下部クラッド層の屈折率よりも小さい構成である。例えば、下部クラッド層が_n型A10.06Ga0.94Nからなり、クラッド層がp型A10.10Ga0.90Nからなる構成である。

【0125】

本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子の製造方法は、クラッド層とn型クラッド層とのA1混晶比を非対称とした他は、実施の形態1に係る窒化物半導体レーザ素子の製造方法と同等であるため、省略する。

【0126】

上部クラッド層の屈折率より下部クラッド層の屈折率が小さいことにより、レーザ発振モードの光分布全体を、下部クラッド層側へ寄せることができる。これにより、基本次水平横モードの下部クラッド層側への放射損失と1次水平横モードの下部クラッド層側への放射損失との差をより大きくさせることができる。すなわち、高出力まで基本次水平横モードを維持した半導体レーザ素子を歩留り良く作製できる。また、レーザ光の楕円率を1に近づけることができる。

【0127】

なお、本実施の形態においては、上部クラッド層と下部クラッド層のA1混晶比を非対称としたが、クラッド層側への放射損失を助長する方向に、垂直構造の屈折率分布を非対称とした構造であれば、本実施の形態と同様の効果を奏する。すなわち、上部光導波層より下部光導波層の層厚を薄くした構成や、上部光導波層より下部光導波層の屈折率を高くした構成等であっても、本実施の形態に係る窒化物半導体レーザと同様の効果を奏する。

【0128】

本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子は、実施の形態1に係る窒化物系半導体レーザ素子の構造をベースにしたものであるが、実施の形態2に係る窒化物系半導体レーザ素子の構造をベースにしたものでもよく、その際に奏する効

果は上記と同様である。

【0129】

(実施の形態4)

本実施の形態は、図5に示された実施の形態2の窒化物半導体レーザ素子の構造に、更に、下部クラッド層側に、下部光導波層と距離を隔てて、吸収層を設けた構成である。本実施の形態においては、基本次水平横モードに比べて1次水平横モードの方が光電界分布（光強度分布）が吸収層にかかる割合が大きいため、吸収層での光吸收による伝搬損失が、前者に比べ後者の方が大きくなる。

【0130】

したがって、基本次水平横モードに対する下部クラッド層側への放射損失と1次水平横モードに対する下部クラッド層側への放射損失の差に、光吸收による伝搬損失のモード依存性による伝搬損失差が加わるため、モードに依存した損失の差を大きくとることができる。したがって、高出力まで基本次横モードを維持させるための、エッチング残し膜厚の許容範囲を広くとることができるようになる。

【0131】

吸収層の位置は、下部光導波層より基板側にあり、かつ吸収層と下部光導波層の距離が0より大きければ、上記の効果を奏する。吸収層と下部光導波層の距離が大きすぎると、吸収層にかかる基本次水平横モード及び1次横モードの光電界分布の割合が小さくなり、かつその割合の減少は1次水平横モードに対して大きくなる。つまり、光吸收による伝搬損失差は小さくなるため、本発明の効果も小さくなる。したがって、吸収層と下部光導波層との距離は、0.01～5.0 μ mが好ましい。より具体的には、吸収層は、第1下部クラッド層と第2下部クラッド層との間、第2クラッド層と第3クラッド層との間に設けることが好ましい。更に好ましくは、第2クラッド層と第3下部クラッド層との間に設けた構成である。

【0132】

図9は、吸収層を有する窒化物系半導体レーザ素子の他の構造例を表す模式的な断面図である。図9に示された窒化物形半導体レーザ素子には、第2クラッド

層923と第3下部クラッド層933との間に吸収層914が設けられている。

【0133】

吸収層の吸収係数は、少なくとも 100 cm^{-1} 以上あれば、上記効果を奏することとなる。吸収層は、例えば、強ドープ層、コドープ層、InGAN層を用いることができる。

【0134】

なお、吸収層を別途設けた構成ばかりでなく、吸収係数が大きな基板を用いれば、上記の効果を奏すると共にレーザ素子の構造がより簡素となる。本実施の形態に係る窒化物系半導体レーザ素子の構造は、実施の形態2をベースにしたものであるが、実施の形態1をベースにしたものでもよく、その際に奏する効果は上記と同様である。

【0135】

(実施の形態5)

本実施の形態に係る消去可能型の光学式情報記録再生装置は、本発明に係る窒化物系半導体レーザ素子を記録光用の光源として用いた構成である。光源以外の構成については公知の構成を用いた。図10は、本光学式情報記録再生装置での記録動作における記録用のレーザ光の伝搬経路、再生動作における再生用の光の伝搬経路及び消去動作における消去用の光の伝搬経路並びに光学系を説明するための模式図である。

【0136】

本光学式情報記録再生装置は、本発明に係る窒化物系半導体レーザ素子1001と、射出制御手段(図示せず)と、コリメータレンズ1002と、ビームスプリッタ1003と、対物レンズ(集光手段)1004と、光ディスク(光記録媒体)1005と、照射位置制御手段(図示せず)と、光を検出する光検出系(光検出手段)1006とを含む構成である。なお、図は簡単のため、本発明の特徴を説明するのに不要な部品(手段)は省略している。

【0137】

本光学式情報記録再生装置においては、窒化物系半導体レーザ素子5001が、記録用の光源、再生用の光源及び消去用の光源を兼ねた構成である。また、射

出制御手段は、異なる出力の光を射出させることができ、再生動作の際には出力を記録用の光及び消去用の光の出力より低い出力で光を射出できる手段である。

【0138】

記録動作時及び消去動作時は、窒化物系半導体レーザ装置から出射したレーザ光が、コリメータレンズで平行光もしくは平行に近い光に変換され、ビームスプリッタを経て、対物レンズにより光ディスクの情報記録面に集光される。光ディスクの情報記録面には、磁気変調もしくは屈折率変調によりビット情報が書き込まれる。再生動作時は、記録時及び消去時と同様の過程を経て半導体レーザ装置から出射したレーザ光が、凹凸もしくは磁気変調もしくは屈折率変調により記録されている光ディスクの情報記録面に集光されるが、集光されたレーザ光は、そこで反射され、対物レンズを通してビームスプリッタを透過し、光検出系に入射して、光学的に検出された信号を電気的信号に変換して記録情報の読み取りが行われる。

【0139】

本発明の半導体レーザ素子を備えた光学式情報記録再生装置においては、記録動作時は、 10^{-6} 以下の欠陥発生率が達成された。また、再生動作時においては、ビット読み取りエラー率 10^{-6} で、書き込まれた情報を読み出すことができた。

【0140】

これに対して、本発明に該当しない従来の窒化物系半導体レーザ素子を備えた光学式情報記録再生装置においては、記録動作時の欠陥発生率、及び再生動作時のビット誤り率が、共に 10^{-3} のオーダーであった。この相違は、高出力まで基本次水平横モードの発振を維持し、高出力までキンクのないI-L特性を有する半導体レーザ素子を本光学式記録再生装置に用いたことにより、光ディスク上に集光されたレーザ光の出力が高くかつ安定したからである。

【0141】

また、本発明の半導体レーザ素子においては、FFPの楕円率が1に近いため、図17に示された従来の光学式情報記録再生装置と異なり、成形プリズム6007を必要としない。このため、本発明の光学式情報記録再生装置においては、

従来の光学式情報記録再生装置に比べて、部品点数を減らすことができるので、低コスト化・小型化を実現することができる。

【0142】

【発明の効果】

以上で説明したように、本発明に係る半導体レーザ素子の第1の態様では、基板と、下部クラッド層と、上部クラッド層と、活性層とを含み、リッジストライプ構造を有する構成において、下部クラッド層と上部クラッド層の少なくとも一方のクラッド層において、活性層で発生する基本次水平横モードの光に対する活性層と反対側の主面への放射損失と活性層で発生する1次水平横モードの光に対する活性層と反対側の主面への放射損失との放射損失差が 10 cm^{-1} 以上することによって、基本次水平横モードの光と比べて、1次水平横モードの光を優位に上記条件を満たすクラッド層側から放射することができる。

【0143】

また、上記の課題を解決するために、本発明に係る半導体レーザ素子の第2の態様では、基板と、下部クラッド層と、上部クラッド層と、活性層とを含み、リッジストライプ構造を有する構成において、下部クラッド層及び上部クラッド層の少なくとも一方のクラッド層の屈折率を、活性層で発生する基本次水平横モードの光に対する等価屈折率未満であり、かつ活性層で発生する1次水平横モードの光に対する1次等価屈折率以上とすることによって、基本次水平横モードの光と比べて、1次水平横モードの光を優位に上記条件を満たすクラッド層側から放射することができる。

【0144】

また、上記の課題を解決するために、本発明に係る半導体レーザ素子の第3の態様は、基板と、下部クラッド層と、上部クラッド層と、活性層とを含み、リッジストライプ構造を有する構成において、上部クラッド層を一部の活性層上に設けてリッジストライプ構造の少なくとも一部をなす構成としたことにより、基本次水平横モードの光と比べて、1次水平横モードの光を優位に下部クラッド層側から放射することができる。

【0145】

本発明に係る半導体レーザ素子を光学式情報記録再生装置に搭載した場合、情報の記録及び／再生を高速かつ高精度で行うことができる。更に、成形プリズム無しで、集光スポット形状が円形に近くなるため、クロストークを減少させることができる。また、本発明に係る半導体レーザ素子を光学式情報記録再生装置に搭載した場合、情報の記録及び／再生を高記録密度、高速かつ高精度で行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

図 1 は、半導体レーザ素子の構造例を表わす模式的な断面図である。

【図 2】

図 2 は、エッティング残し膜厚と、基本次水平横モード及び 1 次水平横モードそれぞれに対する基板側への染み出しによる放射損失をプロットしたグラフ図である。

【図 3】

図 3 は、下部クラッド層の屈折率と、基本次水平横モード及び 1 次水平横モードのそれぞれに対する下部クラッド層側への染み出しによる放射損失をプロットしたグラフ図である。

【図 4】

図 4 は、エッティング残し膜厚に対する基本次水平横モードの等価屈折率及び 1 次水平横モードの等価屈折率の変化をプロットしたグラフ図である。

【図 5】

図 5 は、窒化物系半導体レーザ素子の他の構造例を表す模式的な断面図である。

【図 6】

図 6 は、実施の形態 2 の窒化物半導体レーザ素子に対して横モード光強度分布計算を行う際の計算構造を示した断面図である。

【図 7】

図 7 は、基本次水平横モードに対する光強度分布を計算した結果を示すグラフ図である。

【図 8】

図 8 は、基本次水平横モードに対する光強度分布を計算した結果を示すグラフ図である。

【図 9】

図 9 は、吸収層を備えた窒化物系半導体レーザ素子の他の構造例を表す模式的な断面図である。

【図 10】

図 10 は、本発明に係る本光学式情報記録再生装置での記録動作における記録用のレーザ光の伝搬経路、再生動作における再生用の光の伝搬経路及び消去動作における消去用の光の伝搬経路並びに光学系を説明するための模式図である。

【図 11】

図 11 は、従来型の典型的な半導体レーザ素子の構造を表わす模式的な断面図である。

【図 12】

図 12 は、従来型の典型的な半導体レーザ素子の構造を表わす概念的な断面図である。

【図 13】

図 13 は、従来の半導体レーザ素子における電流-光出力特性 (I-L 特性) を説明するための説明図である。

【図 14】

図 14 は、従来の窒化物系半導体レーザ素子の水平方向 FFP が光出力と共に変化する様子を説明するための説明図であり、図 14 (a) が窒化物系半導体レーザ素子の水平方向 FFP の第 1 例を表わし、図 14 (b) は、窒化物系半導体レーザ素子の水平方向 FFP の第 2 例を表わす。

【図 15】

図 15 は、従来の半導体レーザ素子における SiO_2 層の層厚に対する埋め込み層の吸収による伝搬損失を基本次水平横モード及び 1 次水平横モードのそれについてプロットしたグラフ図である。

【図 16】

図16は、従来の半導体レーザ素子におけるエッチング残し膜厚に対する埋込み層の吸収による伝搬損失を基本次水平横モードと1次水平横モードについてプロットしたグラフ図である。

【図17】

図17は、従来の典型的な光学式情報記録再生装置の基本構成を示す模式図である。

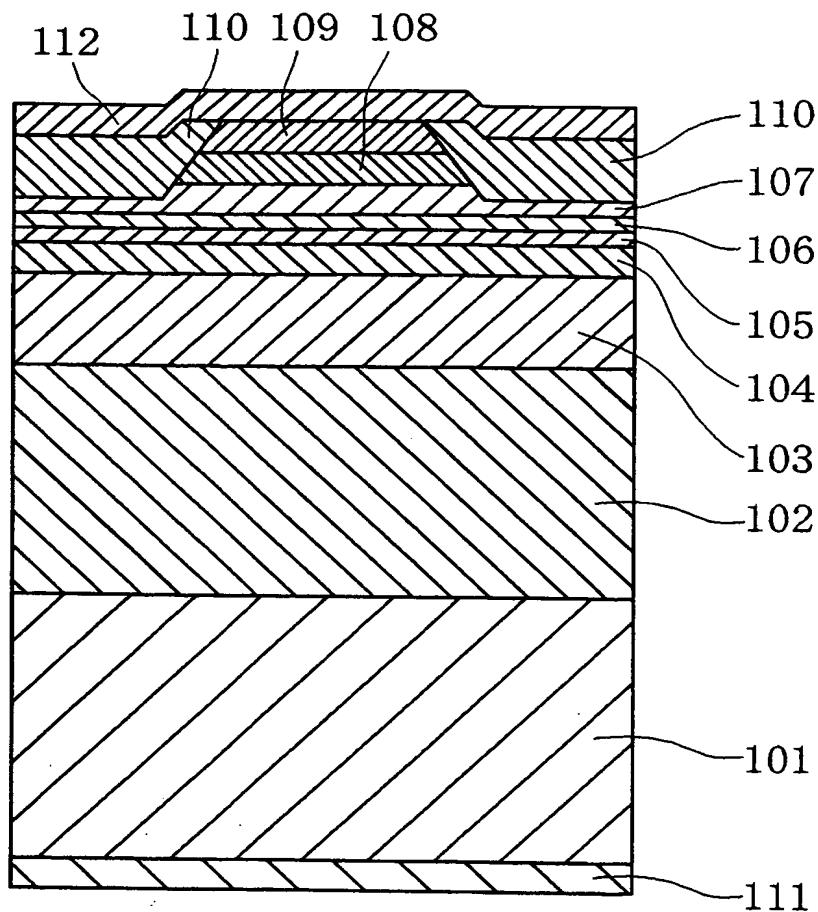
【符号の説明】

- 101、501、1101、1201 基板
- 102、502、1102、1202 下地層
- 103、1103、1203 下部クラッド層
- 513 第1下部クラッド層
- 523 第2下部クラッド層
- 533 第3下部クラッド層
- 104、504、1104、1204 下部光導波層
- 105、505、1105、1205 活性層
- 106、506、1106、1206 キャリアブロック層
- 107、507、1107、1207 上部光導波層
- 108、508、1108、1208 上部クラッド層
- 109、509、1109、1209 コンタクト層
- 110、510、1110、1210 埋め込み層
- 111、511、1111、1211 第1導電型用の電極
- 112、512、1112、1212 第2導電型用の電極
- 914 光吸収層
- 1001、1701 光源
- 1002、1702 コリメータレンズ
- 1003、1703 ビームスプリッタ
- 1004、1704 対物レンズ
- 1005、1705 光ディスク
- 1006、1706 光検出系

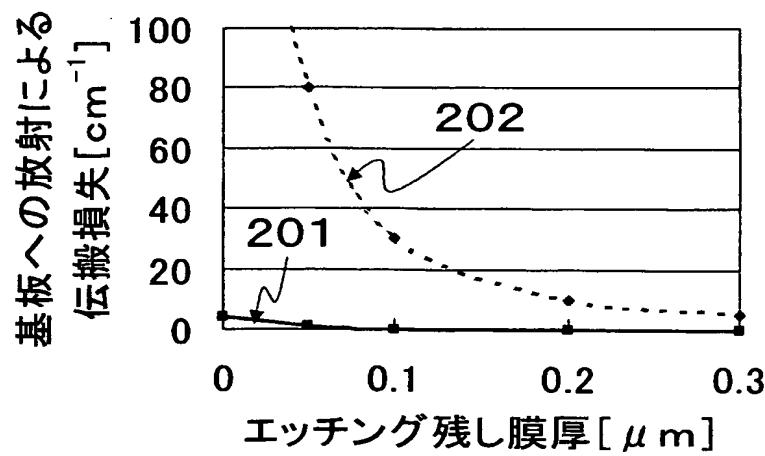
1707 成形プリズム

【書類名】 図面

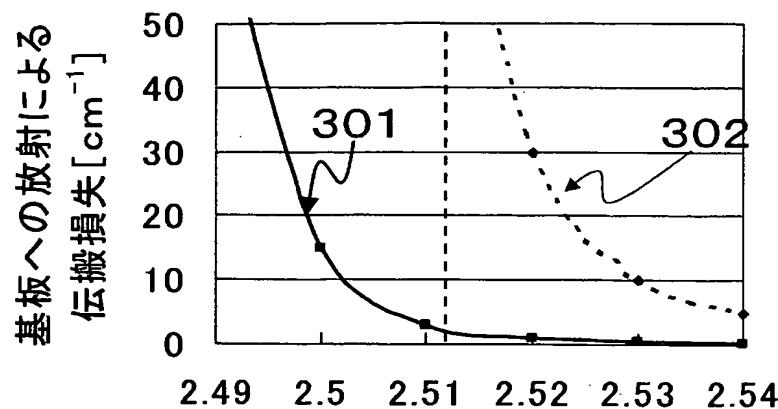
【図1】



【図2】

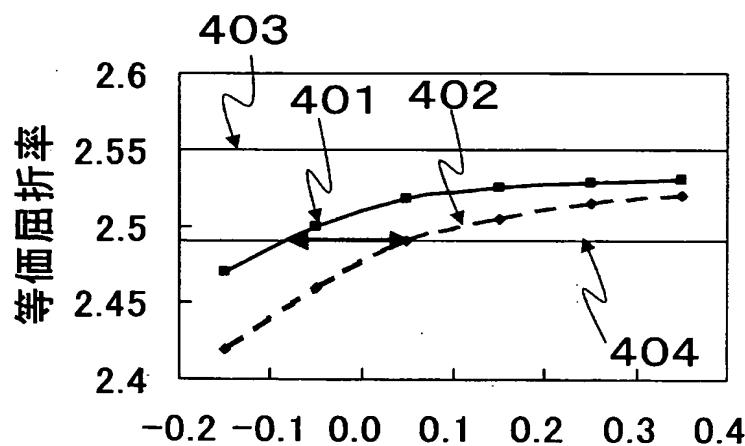


【図3】



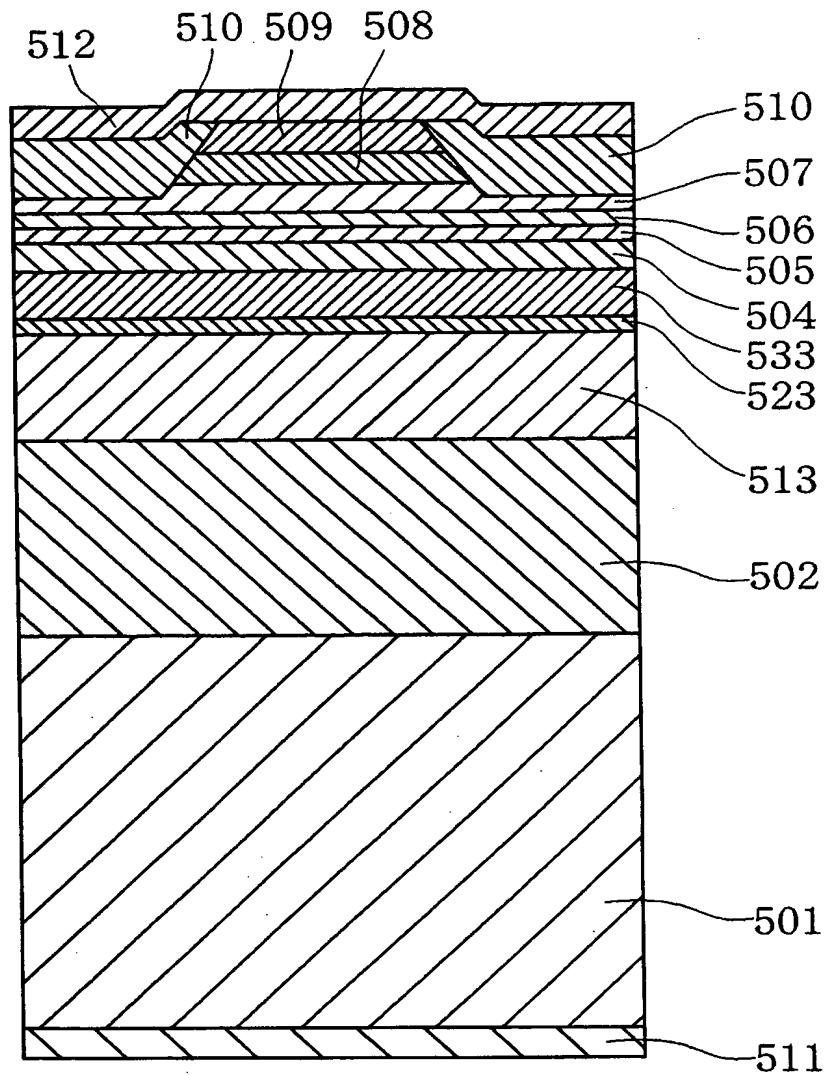
クラッド層屈折率

【図4】

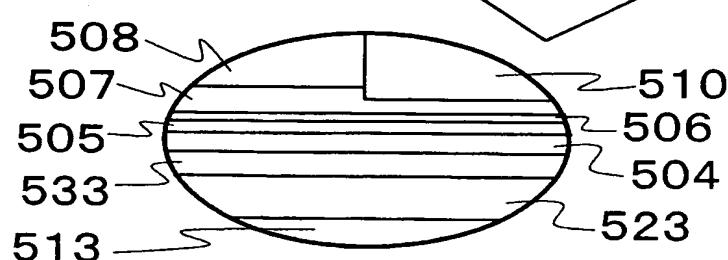
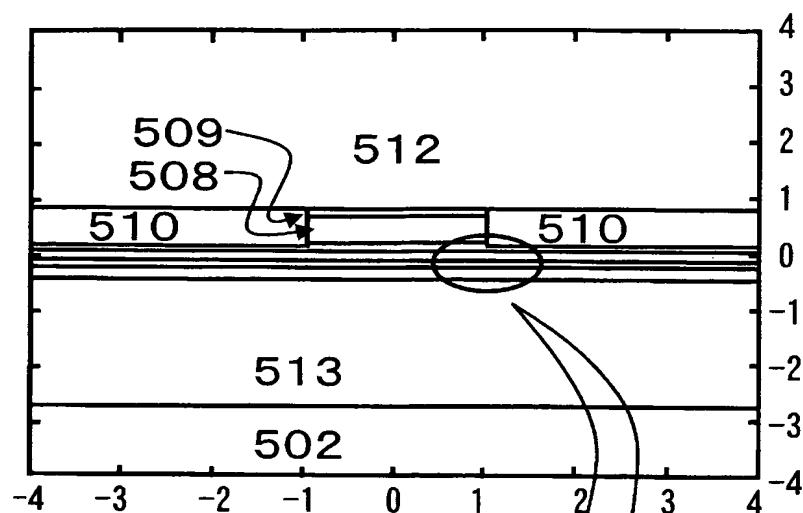


エッティング残し膜厚 [μm]

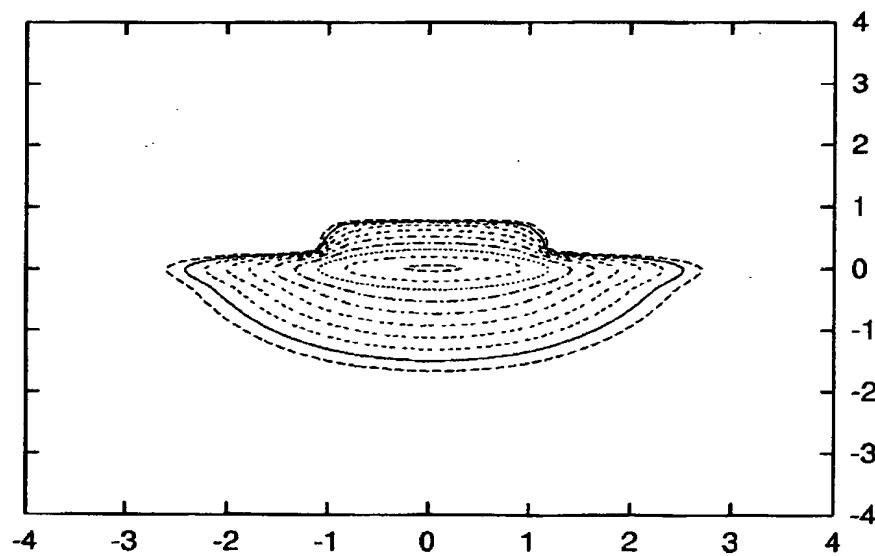
【図 5】



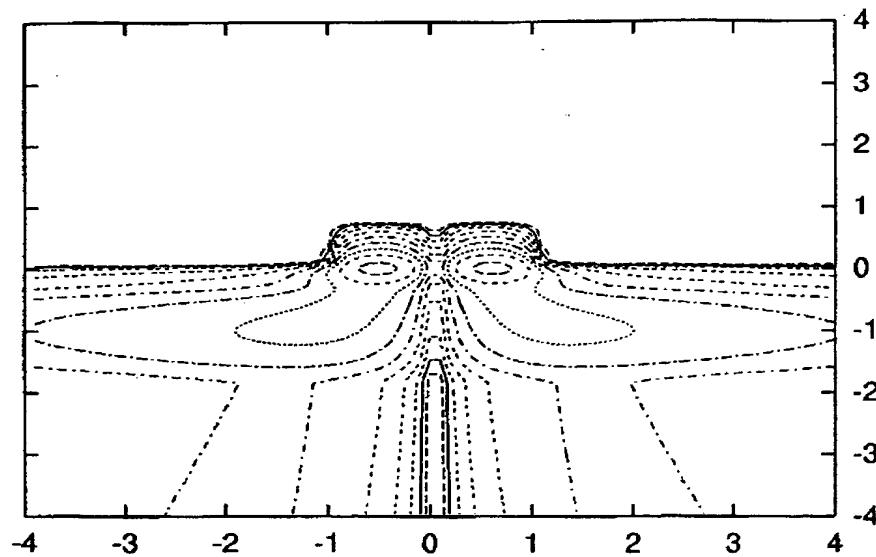
【図6】



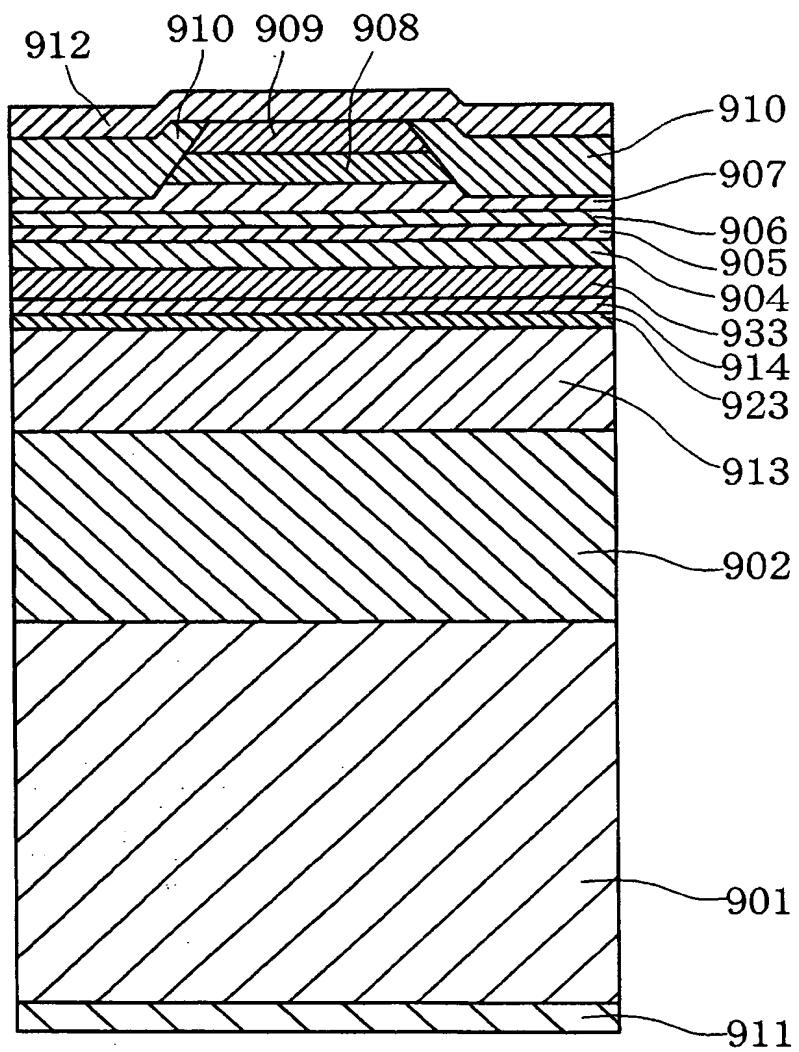
【図7】



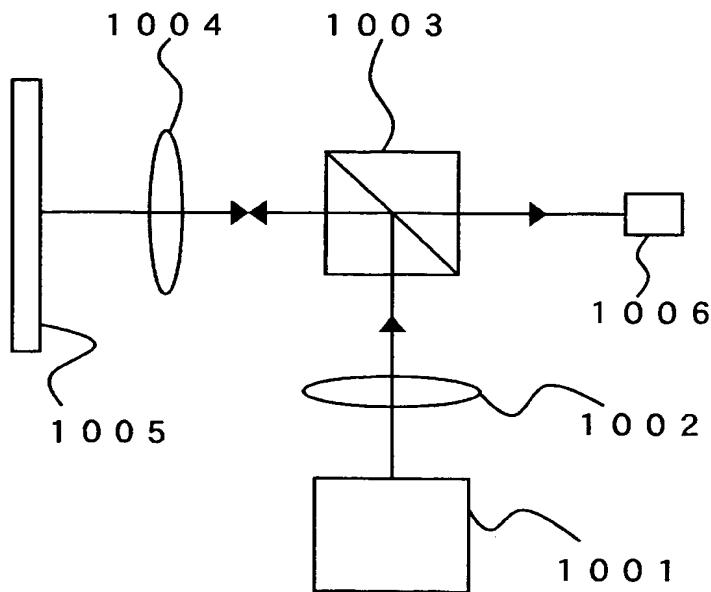
【図8】



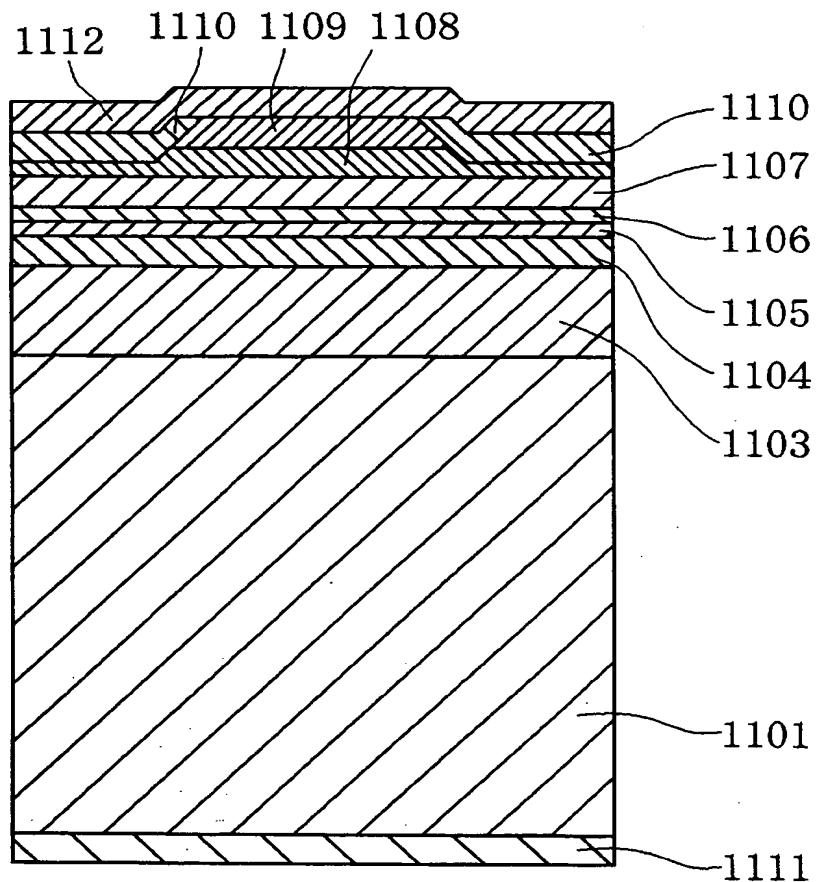
【図9】



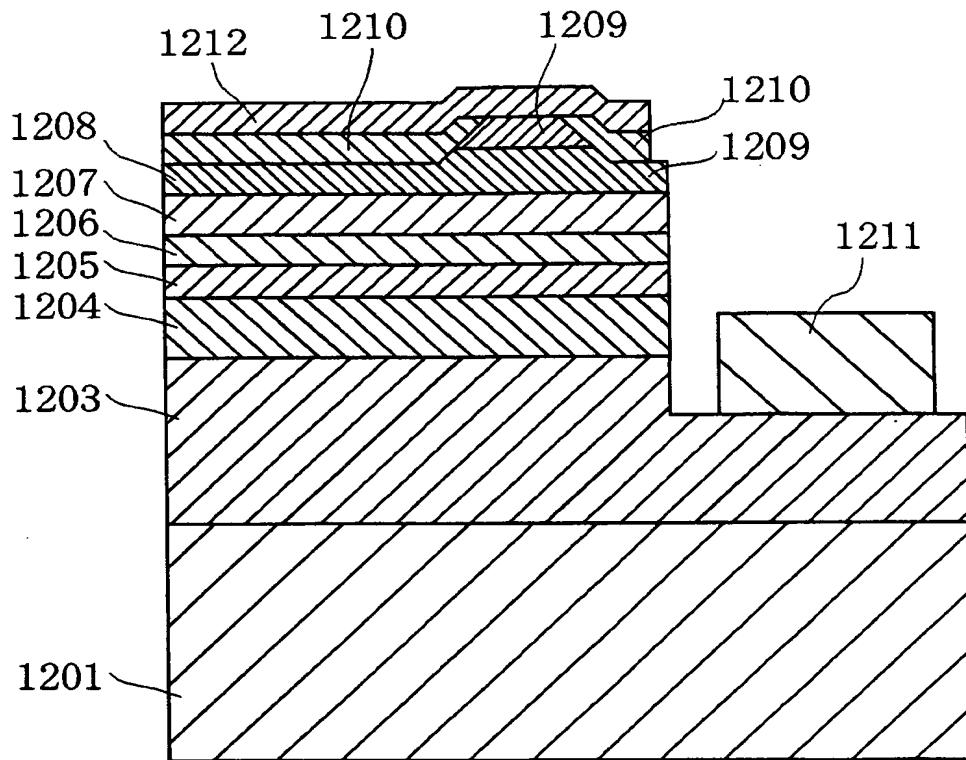
【図10】



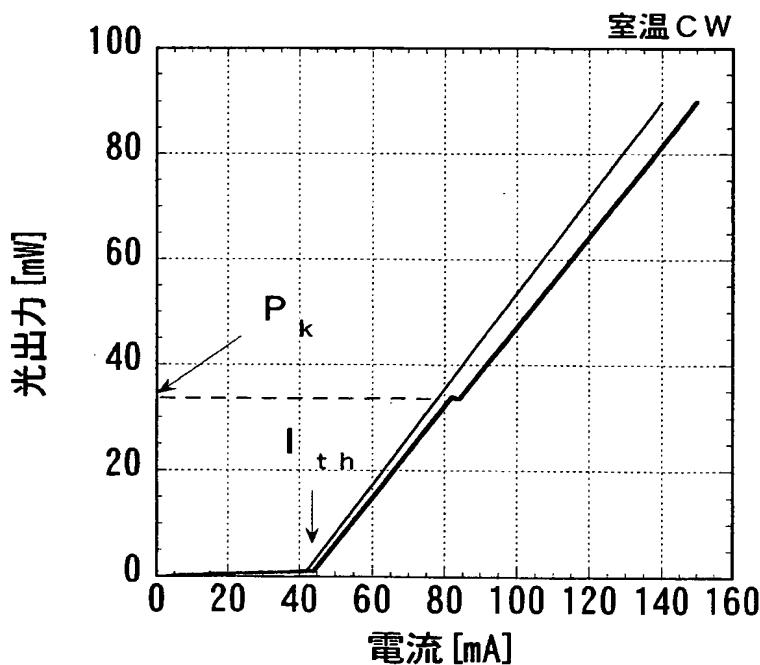
【図11】



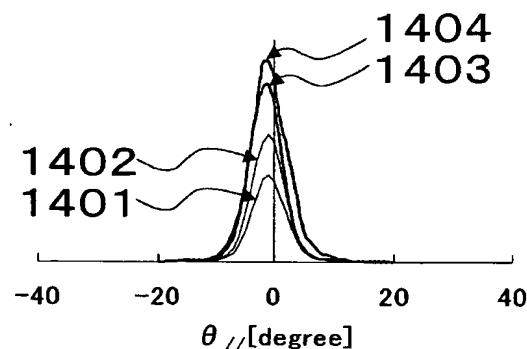
【図12】



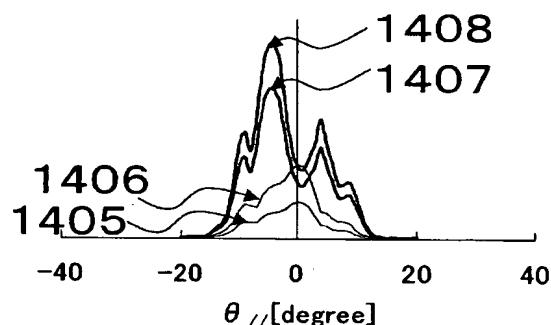
【図13】



【図14】

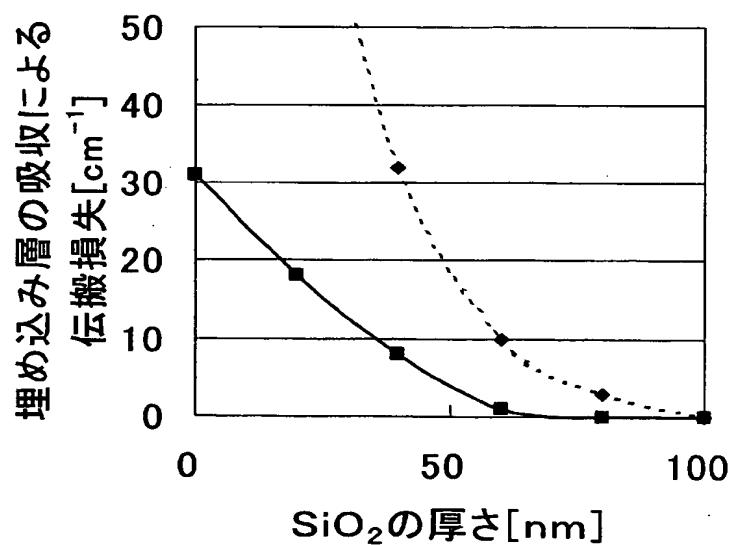


(a)

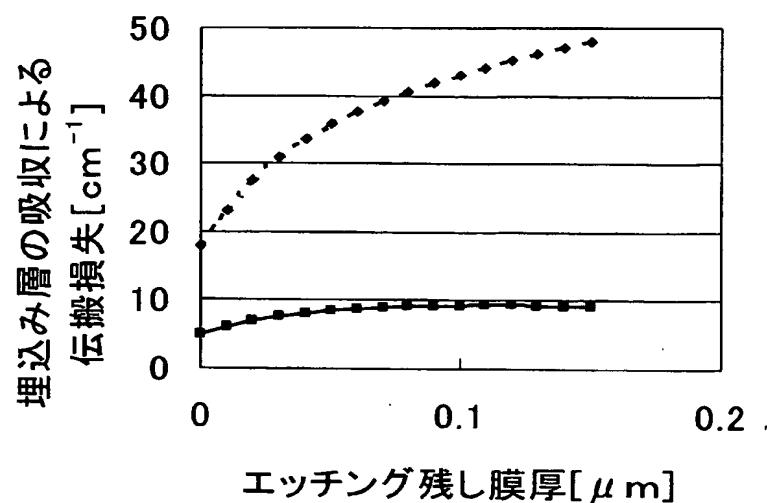


(b)

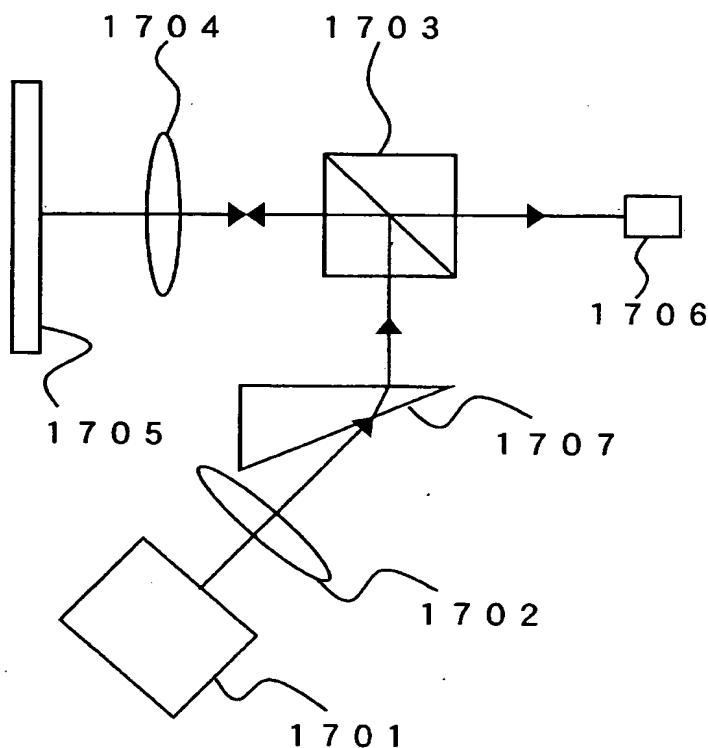
【図15】



【図16】



【図17】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 I-L特性におけるキンクを抑制する新手法を提供し、パルス電流駆動におけるピーク出力が60～100mWの高出力まで基本次水平横モードで発振する半導体レーザ素子を提供する。更に、FFPにおける楕円率を1に近づける方法を提供しスポット形状を円形に近づけた半導体レーザ素子を提供する。

【解決手段】 半導体レーザ素子の構成を、クラッド層における基本次水平横モードの光と1次水平横モードの光に対する放射損失差が 10 cm^{-1} 以上である構成や、クラッド層の屈折率が基本次水平横モードに対する等価屈折率未満であり1次水平横モードの光に対する等価屈折率以上である構成や、上部クラッド層が一部の活性層上にのみ設けられてリッジストライプ構造の少なくとも一部を形成する構成とする。

【選択図】 図1

特願 2003-024735

出願人履歴情報

識別番号 [000005049]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住所 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
氏名 シャープ株式会社